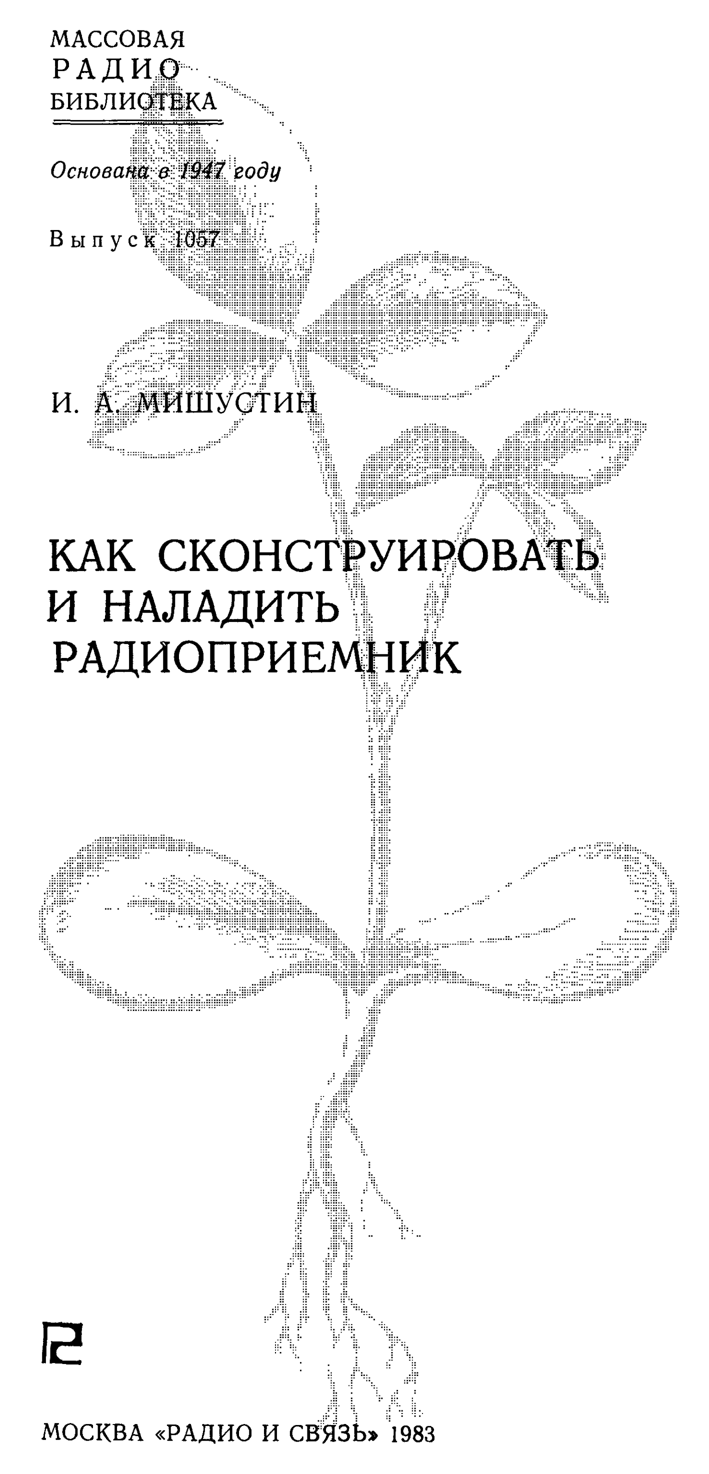


И. А. МИШУСТИН

КАК СКОНСТРУИРОВАТЬ И НАЛАДИТЬ РАДИОПРИЕМНИК



МАССОВАЯ
РАДИО
БИБЛИОТЕКА

Основана в 1947 году

Выпуск 1057

И. А. МИШУСТИН

КАК СКОНСТРУИРОВАТЬ И НАЛАДИТЬ РАДИОПРИЕМНИК

МОСКВА «РАДИО И СВЯЗЬ» 1983

ББК 32.849
М71
УДК 621.396.62

Мишустин И. А.

М71 Как сконструировать и наладить радиоприемник.— М.: Радио и связь, 1983. — 128 с., ил. — (Массовая радиобиблиотека. Вып. 1057).

80 к.

Рассматриваются вопросы конструирования простых любительских супергетеродинных радиоприемников амплитудно-модулированных сигналов на транзисторах и приборов для их настройки. Приведены способы улучшения качества и помехоустойчивости приемников.
Для подготовленных радиолюбителей.

М $\frac{2402020000-007}{046(01)-83}$ 160-83

ББК 32.849
6Ф2.124

РЕЦЕНЗЕНТ КАНД. ТЕХН. НАУК В. К. РАКОВ

Редакция научно-популярной литературы и массовой радиобиблиотеки

Игорь Аркадьевич Мишустин

КАК СКОНСТРУИРОВАТЬ И НАЛАДИТЬ РАДИОПРИЕМНИК

Редактор Е. А. Богатырев
Редактор издательства Н. В. Ефимова
Технический редактор Г. И. Колосова
Корректор Т. В. Покатова

ИБ № 577

Сдано в набор 12.10.82 г. Подписано в печать 6.1.83 г. Т-04603 Формат 60×90/16 Бумага книжн.-журн. Гарнитура литературная Печать высокая Усл. печ. л. 8,0 Усл. кр.-отт. 8,375 Уч.-изд. л. 10,51 Тираж 100 000 экз. Изд. № 19462 Зак. № 134 Цена 80 к.
Издательство «Радио и связь». 101000 Москва, Главпочтамт, а/я 693

Типография издательства «Радио и связь» Госкомиздата СССР
101000 Москва, ул. Кирова, д. 40

ПРЕДИСЛОВИЕ

При самостоятельном конструировании радиоприемника — достаточно сложного в налаживании и настройке устройства — может возникнуть немало трудностей. Как правило, радиолюбители начинают с конструирования простых приемников, усилителей низкой частоты (УНЧ), звуковоспроизводящих устройств и налаживают их с минимумом простейших измерительных приборов. Они подходят к конструированию супергетеродина как к своеобразному этапу, на котором возникает потребность в более совершенных приборах и необходимости ведения расчетов. Современный приемник значительно проще наладить и настроить, имея генератор стандартных сигналов (ГСС), сложность и трудоемкость изготовления которого соизмерима со сложностью и трудоемкостью выполнения важнейших узлов самого приемника. В то же время в составе приемника находится генератор — гетеродин, который, при автономном выполнении, во многих случаях может заменить ГСС. Выполнение его двухтактным и повышенной мощности позволяет ему работать на делитель выходного напряжения (аттенюатор) и одновременно снижает уровень гармоник, что при работе гетеродина в составе приемника повышает помехозащищенность последнего.

В книге описаны отдельные конструкции узлов супергетеродина, приборы для их налаживания, методы упрощения наиболее трудоемкой операции при настройке приемника — сопряжения настроек ВЧ узлов и гетеродина, выбора транзисторов, входящих в схему приемника, а также пути упрощения отдельных узлов без ухудшения качества их работы. При рассмотрении различных вариантов выполнения сопряжения подробно рассмотрен путь, основанный также на введении в коротковолновый приемник автономного гетеродина и позволяющий полностью устранить трудности при сопряжении. Приемник с таким гетеродином назван «учебным». Он имеет двухручечное управление, поэтому настройка на выбранную станцию осуществляется медленнее, чем у обычного приемника. Однако выполнение различных вариантов управления таким приемником, а также различных корректоров и подстроечных органов позволяет наглядно представить как сам процесс сопряжения, так и причины ошибок, его сопровождающих.

При описании конструкций ВЧ узлов уделено внимание упрощенным узлам с сокращенным числом контактов в переключателях, доработанных блоками КПЕ, позволяющими развить схемы ВЧ узлов и повышать селективность приемников Рассмотрены более совершенные активные элементы, например, полевые транзисторы и показана их перспективность для приемных устройств, работающих в условиях помех. Приемники на биполярных транзисторах и их узлы рассмотрены с точки зрения возможности ввода в них полевых транзисторов или совместной работы биполярных и полевых транзисторов, так как свойства тех и других часто полезно дополняют друг друга.

Отзывы и замечания по книге направляйте по адресу: 101000, Москва, Чистопрудный бульвар, д. 2, издательство «Радио и связь», редакция научно-популярной литературы и массовой радиобиблиотеки.

Автор

Глава первая

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЯ ПРИЕМНИКОВ

ТИПЫ ПРИЕМНИКОВ

Представление о приемнике как об устройстве, только усиливающем слабый сигнал, поступающий от антенны, не полностью отражает его свойства. Приемник выделяет (фильтрует) полезный сигнал из множества других высокочастотных (ВЧ) сигналов и помех разного вида, всегда присутствующих на его входе.

По характеру процесса фильтрации входных напряжений различают два типа приемников: прямого усиления и супергетеродинные. Прежде чем перейти к характеристике указанных основных типов, целесообразно ввести понятие идеального приемника. Передающая радиостанция с амплитудной модуляцией (АМ) излучает радиоволны на несущей частоте в виде сигнала с определенным частотным спектром, занимающим некоторую полосу частот. Идеальный приемник, настроенный для приема, выделяет именно эту полосу частот и равномерно усиливает все составляющие спектра сигнала без искажений до необходимого уровня. Сигналы любого типа вне упомянутой полосы можно рассматривать как помехи. Идеальный приемник их отфильтровывает и они (и их составляющие) не попадают в выходные цепи и не воспроизводятся вместе с полезным сигналом. Таким образом, идеальный приемник — сочетание фильтра без потерь в полосе пропускания, обладающего бесконечно большим затуханием вне этой полосы, с неискажающим усилителем.

Графически характеристика идеального фильтра — прямоугольник, в который вписывается спектр сигнала (рис. 1,*а*). Ширина полосы пропускания обычно определяется на уровне 0,707 или 0,5 от уровня максимального (единичного) усиления. Ширина полос на более низких уровнях сигнала $U_с$ (0,1; 0,01 и т. д.) оценивается по отношению к полосе пропускания на уровне 0,7. Это отношение называется коэффициентом прямоугольности $К_п$ фильтра. У идеального фильтра с прямоугольной характеристикой $К_п=1$ на всех уровнях. Полоса пропускания реальных фильтров $2\Delta f_п$ на низких уровнях значительно шире, чем на высоких. Следовательно, для реальных фильтров $К_п>1$. Чем проще и и несовершеннее фильтр, тем его характеристика более похожа на колоколообразную с сильно расходящимися краевыми областями. И наоборот: хорошие фильтры ($К_п$ мал) обладают высокой прямоугольностью.

При АМ на передающей радиостанции низкочастотные составляющие $F_н$ модулирующего сигнала располагаются в излучаемом спектре рядом с несущей, а высокочастотные $F_в$ удалены от нее, причем размер этого удаления и определяет ширину спектра. Спектр речевого сигнала значительно у́же спектра оркестра. Когда ширина полосы пропускания приемника в два раза больше ширины спектра частот модуляции от $F_н$ до $F_в$, то (при наличии в нем идеальных узлов в ВЧ и НЧ трактах и излучающих звук устройств) воспроизво-

димый звуковой сигнал будет идентичен модулирующему сигналу радиостанции. Так, например, при ширине полосы фильтра приемника 10 кГц будут воспроизводиться сигналы с верхней частотой модуляции 5 кГц. При наличии идеального фильтра прием свободен от помех, если только их составляющие не входят в пределы характеристики фильтра (рис. 1,*а*). Однако реальные фильтры далеки от идеальных и поэтому на приемник оказывают свое действие помехи ($U_п$), даже значительно удаленные по частоте от несущей частоты сигнала (рис. 1,*б*). Чем более пологи резонансные характеристики фильтров приемника, тем менее мощные отдельные помехи будут влиять на прием. Сумма напряжений помех $\sum U_п$ с различной частотой $f_п$ всегда присутствует в любом участке принимаемого диапазона волн, создавая определенный шумовой фон или фон сплошных внешних шумов. Чем чувствительнее приемник, тем более узкой полосой он должен обладать, так как при ее расширении суммарное напряжение различных даже относительно слабых внешних помех в полосе принимаемых частот будет существенным. С ростом чувствительности и расширением полосы все более ощутимыми становятся и собственные (внутренние) шумы, мало заметные в приемниках невысоких классов.

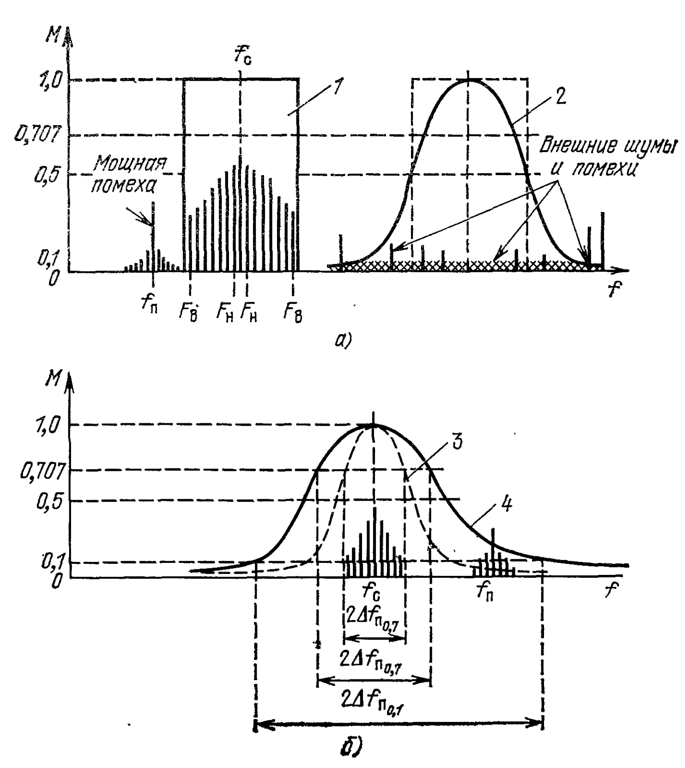


Рис. 1. Зависимость нормированного усиления *M* от частоты:
а — «идеальный» фильтр; *б* — реальные фильтры;
1 — характеристика «идеального» фильтра; *2* — характеристика обычного фильтра; *3* — фильтр на контурах высокой добротности; *4* — фильтр на контурах низкой добротности (примерный вид характеристики приемника прямого усиления)

Приемник прямого усиления. Это приемник, в котором селекция производится на частоте сигнала f_c. Приемник содержит фильтры, перестраиваемые по диапазону при настройке на станции, усилитель сигналов, детектор и УНЧ. Если бы технические средства были совершенными, то приемник прямого усиления был бы идеальным, т. е. представлял собой сочетание идеального перестраиваемого фильтра и усилителя. Реальная фильтрация в ВЧ диапазоне производится одновременно перестраиваемыми фильтрами в виде группы резонансных контуров. Форма нормированной (приведенной к единичному уровню) амплитудно-частотной характеристики (M) группы таких контуров не остается постоянной при перестройке. Контуры невозможно выполнить абсолютно одинаковыми, как и уравнять вносимые в них на разных частотах потери и реактивные сопротивления. Вершина суммарной характеристики группы контуров приемника и крутизна ее скатов будут изменяться при перестройке по диапазону, поэтому основные параметры приемника прямого усиления: чувствительность, полоса пропускания, селективность — будут зависеть от рабочей частоты. Особенно трудно выполнить фильтр, перестраиваемый в диапазоне повышенных частот, например, для работы в КВ диапазонах.

Значительные недостатки имеет и многокаскадный усилитель ВЧ напряжения (УВЧ), в каскады которого включены перестраиваемые контуры. Элементы ВЧ каскадов имеют емкостные и индуктивные связи с элементами соседних каскадов, поэтому внутри каскадов могут устанавливаться паразитные связи входных и выходных цепей, способствующие возникновению самовозбуждения. Этому способствует и несовершенство активных элементов, а именно, наличие у них внутренних проводимостей, связывающих выходные цепи каскадов с входными. Еще более опасны связи между каскадами и связи через общие для группы каскадов цепи, например, цепи питания. Они ведут к возбуждению всего приемника, затрудняют значительное увеличение общего усиления. Для местного приема на средних (СВ) и длинных (ДВ) волнах находят применение простые приемники прямого усиления с небольшой чувствительностью. Они обладают низкими собственными шумами и широкой полосой, не имеют побочных каналов приема и не вносят значительных искажений в усиливаемый сигнал.

Супергетеродин. Полезный сигнал в супергетеродине перемножается в специальном преобразующем устройстве (смесительном или преобразовательном каскаде) со вспомогательным, стабильным по амплитуде ВЧ напряжением, которое перестраивается по частоте в соответствии с перестройкой фильтра принимаемого полезного сигнала (U_c) и подводится к смесителю от маломощного генератора-гетеродина, встроенного в приемник. В результате перемножения весь спектр сигнала и близкие к нему по частоте другие сигналы и помехи переносятся на промежуточную частоту (ПЧ), на которой не работают мощные радиостанции, а ее понижение, например, на СВ и КВ по отношению к частоте сигнала значительно облегчает дальнейшую фильтрацию и усиление. Обычно принимают $f_{ПЧ}=f_{гет}-f_c$.

Так как при перестройке входного фильтра сопряженно перестраивается и частота гетеродина, то в результате работы преобразующего устройства промежуточная частота оказывается всегда постоянной. Очевидно, что фильтр с постоянными параметрами можно выполнить значительно более совершенным, нежели перестраиваемый. Поэтому фильтрация сигнала (выделение его из помех и других соседних сигналов) становится более качественной, а характеристика основного фильтра (на ПЧ) более похожей на прямоугольную. Усиление ко-

лебаний с пониженными частотами также облегчается, что позволяет применять в радиовещательных приемниках усилители промежуточной частоты (УПЧ) с коэффициентом усиления около нескольких тысяч и даже десятков тысяч.

Серьезным недостатком супергетеродина является возможность попадания в тракт УПЧ сигналов, близких по частоте к промежуточной, а также паразитных сигналов, как просачивающихся через УВЧ, так и возникающих в самом преобразующем устройстве (преобразователе частоты или смесителе) при взаимодействии напряжения гетеродина с напряжениями помех и посторонних сигналов с вполне определенными частотами, связанными со значением выбранной ПЧ. Так, например, сигнал $U_п$ помехи, отстоящий от принимаемого на удвоенное значение промежуточной частоты (рис. 2), образует с сигналом гете-

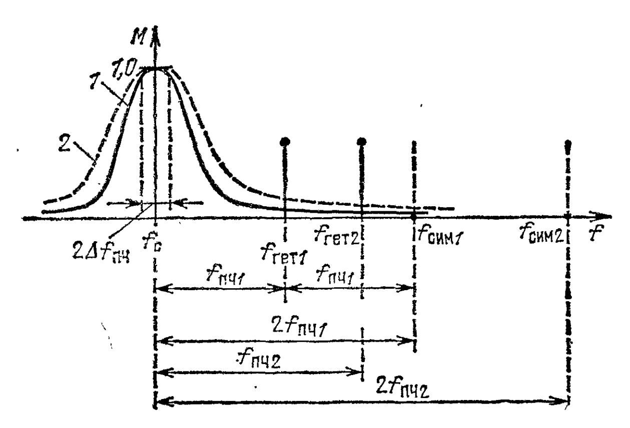


Рис. 2. **Влияние добротности входного фильтра и частоты $f_{пр}$ на подавление симметричных помех в супергетеродине:** *1* — **фильтр на контурах высокой добротности;** *2* — **фильтр на контурах низкой добротности**

родина напряжение, проникающее в УПЧ. Помехи такого рода называются симметричными или «зеркальными», а основной метод борьбы с ними заключается в их ослаблении, т. е. в улучшении фильтрации до преобразования и в повышении промежуточной частоты $f_{ПЧ}$. Легко видеть, что с ростом $f_{ПЧ}$ (т. е. в случае, когда $f_{ПЧ_2} > f_{ПЧ_1}$) во входном фильтре или во входных цепях и в усилителях высокой частоты (УВЧ) улучшается отстройка от помех этого вида и напряжения помех поступают в преобразователь ослабленными. Для борьбы с помехами на самой ПЧ на входе приемника (или в УВЧ) устанавливают заградительные или режекторные фильтры, понижающие их уровень.

Заметим также, что интенсивность воздействия помех на супергетеродин снижается не только при приближении $K_п$ основного фильтра (фильтра сосредоточенной селекции — ФСС) к единице. Она снижается и при уменьшении гармоник крутизны преобразователя; при этом падают амплитуды различных комбинационных сигналов, образующихся на основе входных помех с частотами $f_{ПЧ} \pm 2f_{гет}$; $f_{ПЧ} \pm f_{гет}$ и т. п. Конечно, система входных контуров и контуры фильтров ПЧ расстроены по отношению к частотам таких помех, но эти помехи могут иметь очень большую мощность и будут влиять на прием даже после ослабления. В чувствительных приемниках с несовершенным и плохо нала-

женным гетеродином влияние помех более ощутимо. Борьба с ними трудна и даже не всегда облегчается с повышением количества настроенных на частоту сигнала контуров, так как при этом увеличиваются потери сигнала, растет влияние собственных шумов.

Помехи могут проникать в приемник и косвенным путем. Даже если в результате взаимодействия с $U_{гет}$ они образуют сигнал, лежащий вне полосы пропускания фильтра ПЧ (ФСС), то при большой мощности можно изменять режим работы УВЧ и преобразователя. При большой мощности помех их напряжения как бы заменяют напряжение гетеродина и взаимодействуют с другими помехами и сигналами. Наконец, сам процесс преобразования (и усиления в УВЧ) не должен вносить дополнительные искажения. Это требование удовлетворяется при слабом входном сигнале, когда преобразователь (или УВЧ) не перегружается.

Функциональные схемы супергетеродинов. На рис. 3 приведена примерная типовая схема простого супергетеродина, часто используемая в портативных конструкциях, обеспечивающих чувствительность 1,5—3 мВ/м при отношении сигнал-шум 20 дБ. Схема содержит входную цепь, преобразователь, ФСС, УПЧ, детектор на диоде *Д1* с цепью автоматической регулировки усиления (АРУ), УПЧ и выходную цепь с регулятором напряжения низкой частоты,

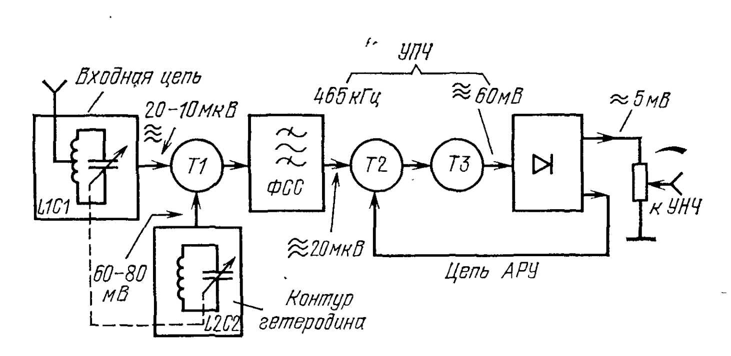


Рис. 3. Функциональная схема простого супергетеродина. Указаны примерные напряжения на входах важнейших узлов

образующегося на нагрузке детектора. Обычно подобные схемы выполняют на биполярных транзисторах. Одиночный контур во входной цепи осуществляет первичную селекцию, его основная задача — значительно ослабить напряжения помех «зеркального» канала. Как правило, контур наматывают на ферритовом стержне магнитной антенны (ФА), что обеспечивает более узкую полосу пропускания (за счет использования свойств феррита добротность контура возрастает). Так как биполярные транзисторы имеют малое входное сопротивление, а контуры — относительно большое, напряжение от входного контура снимается с части катушки или вспомогательной катушки связи с малым числом витков. Частичное включение контура автотрансформаторного или трансформаторного типа приводит к значительному уменьшению напряжения, подводимого к первому транзистору. Рассмотрим напряжения в схеме простого супергетеродина. Напряжение, действующее на входе первого активного элемента (обозначено волнистыми линиями), приблизительно равно 20—30 мкВ. В преобразователе оно взаимодействует со значительно большим напряжением,

образующимся в гетеродинной его части (от 60—80 до 100—150 мВ для преобразователей на биполярных транзисторах и 1—2 В и более для схем на полевых транзисторах).

На выходе ФСС (в приемных схемах такого типа в виде трех-четырех контуров, настроенных на $f_{ПЧ}$) при таком напряжении входного сигнала развивается напряжение промежуточной частоты (обычно 465 кГц), примерно равное 20 мкВ. Количество контуров и их добротность определяют качество работы основного фильтра: отстройку от соседних станций, ширину полосы пропускания супергетеродина и тем самым — качество воспроизведения высших составляющих спектра полезного сигнала. Усилитель промежуточной частоты на транзисторах *Т2*, *Т3* компенсирует потери в основном фильтре и усиливает сигнал ПЧ до напряжения, примерно равного 60 мВ, при котором на выходе детектора выделяется напряжение огибающей сигнала ПЧ в виде НЧ напряжения с амплитудой, примерно равной 5 мВ. В цепи АРУ при этом также возникает напряжение, но оно мало и слабо влияет на УПЧ. При увеличении входного напряжения от цепи антенны, указанные напряжения возрастают; растущее напряжение АРУ смещает рабочую точку транзистора *Т2*, в результате чего уменьшается его крутизна и как следствие этого уменьшается усиление УПЧ. Благодаря автоматическому действию цепи АРУ, более сильные сигналы местных радиостанций не перегружают УПЧ и усилители низкой частоты (УНЧ), а колебания уровня сигналов дальних радиостанций уменьшаются.

Пользуясь данными, указанными на рис. 3, несложно определить примерный коэффициент усиления УПЧ простейшего приемника. Без учета действия АРУ он равен отношению 60 мВ к 20 мкВ, т. е. 3000. Обычно у подобных приемников оно составляет $(3—4)\cdot10^3$, а у более совершенных $(5—8)\cdot10^3$. Усиление, создаваемое первым транзистором УПЧ, обычно равно 100—150, а усиление второго транзистора не превышает 20—40. Бóльшие значения коэффициентов достигаются при резонансных нагрузках, так как коэффициент усиления резонансного каскада с активным элементом равен произведению его крутизны (в рабочей точке) на эквивалентное сопротивление контура на частоте резонанса, которое можно обеспечить достаточно большим. Широкополосный УПЧ (без резонансных нагрузок) прост, устойчив в работе, легко настраивается установкой соответствующего режима. Упрощается и настройка всего приемника, особенно при использовании заранее настроенных типовых ФСС. Она сводится к установлению режима преобразователя, настройке входной цепи. К недостаткам простых приемных устройств такого типа относится возможность перегрузки первого транзистора, не охваченного цепью АРУ. При повышении входного сигнала или появлении мощной помехи нарушается работа смесительной части преобразователя. Напряжение гетеродина может проникать во входную цепь и антенну, излучаться в эфир и тем самым создавать помехи соседним приемникам с высокой чувствительностью. Покажем теперь, что значительное повышение параметров простейших приемников (например, IV класса) затруднено.

Предположим, что усиление УПЧ в схеме рис. 3 увеличено до десятков тысяч. Селективность входной цепи мала, поэтому различные помехи начнут интенсивно усиливаться в УПЧ и искажать полезный сигнал. Если для увеличения селективности выполнить входную цепь двухконтурной, то в приемнике необходимо использовать конденсатор переменной емкости (КПЕ) с тремя секциями, что увеличит габаритные размеры.

Кроме того, двухконтурная цепь, нагруженная на малое входное сопротивление биполярного транзистора или очень слабо с ним связанная, будет работать неэффективно и коэффициент передачи полезного входного сигнала будет невелик, а отношение сигнал-помеха изменится мало. Таким образом, улучшение параметров приемника должно производиться одновременным совершенствованием нескольких его узлов. Иными словами, должен повышаться класс приемника.

Функциональная схема усложненного супергетеродина дана на рис. 4,*а*. Он выполнен с резонансным УВЧ, который совместно с входной цепью осу-

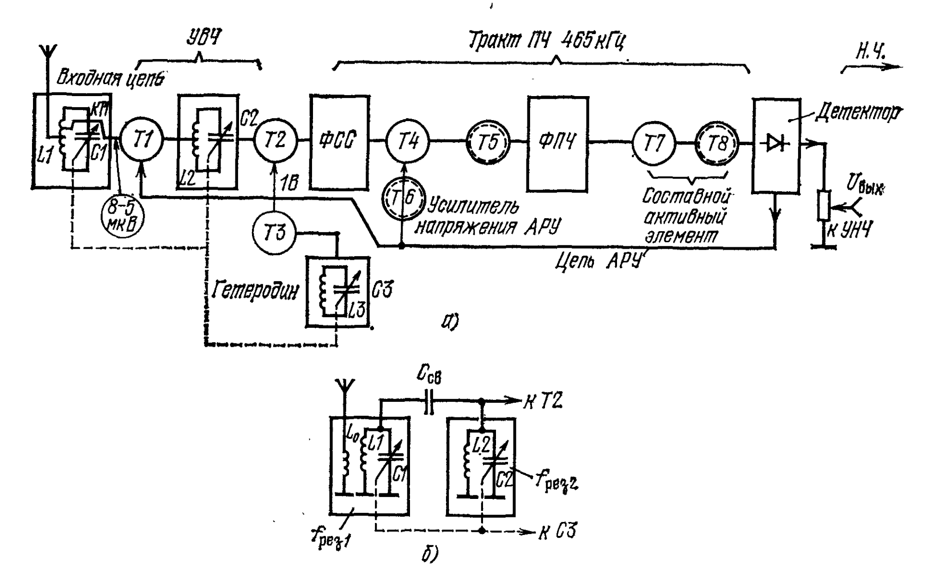


Рис. 4. Функциональная схема супергетеродина с УВЧ, смесителем и усложненным УПЧ: *а* — функциональная схема; *б* — двухконтурная входная цепь. Штриховой линией показаны биполярные транзисторы, используемые для значительного увеличения усиления приемника

ществляет улучшенную селекцию сигналов симметричного канала. Усиление УВЧ составляет 5—10 раз, что позволяет компенсировать потери во входной цепи и сохранить соотношение $U_c \ll U_{гет}$, необходимое для работы смесителя с малыми искажениями. Диапазон изменений полезного сигнала (U_c) на входе смесителя уменьшен за счет того, что УВЧ охвачен петлей АРУ. Гетеродин развязан со входной цепью, и просачивание его сигнала в цепь антенны ослаблено. В приемнике использован КПЕ с тремя секциями. В нем широко используются полевые или составные транзисторы (*T1*, *T2*, *T4*, *T7*, а при наличии усилителя напряжения АРУ и *T6*), что позволяет увеличить резонансные напряжения, снимаемые с контуров, за счет увеличенного входного сопротивления соответствующих полевых транзисторов. Гетеродин представляет собой отдельный узел, что повышает стабильность его работы. Этому же способствует и использование в гетеродине полевого транзистора. Чувствительность и селективность приемника повышены одновременно за счет улучшения входной его части и УПЧ. В последнем использован улучшенный ФСС и резонансные нагрузки в цепях каскадов (в виде связанных контуров).

Более простой приемник выполняется без УВЧ, но при сохранении трехсекционного КПЕ, в том случае, когда смеситель или преобразователь выполняются на полевых транзисторах. Схема входной двухконтурной цепи приведена на рис. 4,*а*. Между контурами, перестраиваемыми общим блоком КПЕ, устанавливается слабая связь. Достаточно ослабляется и связь входной цепи с антенной. По этим причинам, а также потому, что входное сопротивление полевого транзистора велико, нормированная характеристика входной цепи приобретает вид, показанный на рис. 9,*б*. При этом полоса пропускания входной цепи расширяется, а коэффициент прямоугольности снижается. Подобная входная цепь также ослабляет связь антенной цепи с гетеродином. Уменьшение «потерь» сигнала во входной цепи, показанной на рис. 4,*б*, достигается за счет непосредственного подключения второго резонансного контура ко входу полевого транзистора.

В схеме рис. 4,*а* усиление между отдельными частями УПЧ распределяется примерно так же, как усиление между каскадами в схеме рис. 3. Вторая пара транзисторов обеспечивает меньшее усиление (иногда несколько десятков) а первая, работающая в нагрузке ФСС и усиливающая слабые сигналы, — относительно большее. Это способствует повышению стабильности работы УПЧ. В простейших широкополосных УПЧ, нагруженных на цепь детектора и имеющих малое усиление, возможность самовозбуждения мала. В УПЧ, обладающих большим усилением, такая возможность значительно увеличивается, особенно при наличии связей между входом и выходом. Рост усиления УПЧ заставляет учитывать шумы. При малом входном сигнале (8—10 мкВ) сказываются собственные шумы первого транзистора, особенно используемого в режиме преобразователя. Поэтому в приемниках повышенной чувствительности для улучшения отношения сигнал-шум применяют УВЧ, имеющие по сравнению с преобразователем меньшие собственные шумы.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРИЕМНИКОВ

Снижение качества работы одного из элементов, последовательно включенных в приемный тракт, не может быть полностью компенсировано улучшением работы других элементов. Так, например, сужение полосы пропускания фильтра в УПЧ нельзя исправить расширением полосы УНЧ. Эта особенность формирует одно из требований к современным приемникам. Высокое качество воспроизведения звука требует высококачественной работы всех узлов: от входных цепей до акустических агрегатов на выходе. Требования к узлам и решения, за счет которых они выполняются, противоречивы. Например, повышение стабильности работы некоторого узла часто связано с его усложнением, повышение добротности группы связанных контуров затрудняет их совместную настройку и т. д. Если повышение чувствительности не будет сопровождаться улучшением селективности, то приемник будет усиливать помехи, а прием сигнала ухудшится. Иными словами, повышение чувствительности приемника возможно только после реализации фильтра с более высокой прямоугольностью (улучшения ФСС).

Качество фильтрации можно поднять, например, усложнением основного фильтра, увеличением числа и добротности его контуров. Но значительное увеличение числа контуров приводит к росту потерь, необходимости увеличения усиления активных элементов для их компенсации, росту влияния собст-

венных шумов. Увеличение же добротности контуров может (при неправильном конструировании) ухудшить стабильность работы УПЧ. Характерно, что в приемниках невысокой чувствительности и селективности противоречия проявляются в меньшей степени, а проблема собственных шумов даже не возникает. В приемниках высоких классов проявляются как уже рассмотренные, так и новые проблемы. При использовании многих контуров и сопряженных с ними (в каскадах усиления) активных элементов для исключения их взаимного влияния, выражающегося в шунтировании контуров, значительно ослабляют степень взаимной связи между контурами и связь между контурами и активными элементами, поэтому значительная часть сигнала как бы «теряется» на элементах связи. Упрощение УПЧ достигается отказом от *LC*-фильтров и использованием пьезокерамических фильтров (ФСС типа ПФ) фабричного изготовления, полностью настроенных и подготовленных к работе. Они имеют относительно небольшие потери в полосе пропускания и малые размеры. Сложные транзисторные каскады могут быть заменены интегральными микросхемами и т. д. В ряде случаев, наряду с готовыми, дефицитными элементами в любом месте приемного тракта могут с успехом использоваться «устаревшие» и самодельные, но при этом с увеличенными габаритными размерами. Например, малогабаритные звуковые колонки (типа МАС) могут быть заменены колонками бо́льшего объема с группой худших по качеству головок в каждой. Малогабаритная катушка диапазона СВ с сердечником из феррита высокого качества успешно заменяется секционированной катушкой с сердечником типа СБ и т. д.

Пути радиолюбительского конструирования. Первый — повторение образцовых, тщательно разработанных конструкций. Этот путь требует точного использования указанных в описании деталей с заданными параметрами. При строгом повторении конструкция обычно работоспособна и ее настройка (и даже подстройка) несложна. Однако чем сложнее приемник и дефицитнее его детали, тем чаще необходима их замена, что обычно приводит к нарушению строгого соответствия выполняемых конструкций и схем образцовым. Отсутствие опыта и необходимых измерительных приборов для тщательной и полной настройки также сказываются отрицательно, поэтому конструирование сложных приемников по образцу часто не доводится до конца. Второй путь — самостоятельный детальный расчет всех узлов схемы — доступен преимущественно радиолюбителям с большим опытом. Описание такого расчета приведено в [1].

В настоящей книге рассматривается еще один путь, заключающийся в создании «учебных» приемников, а также выполнении приборов для их налаживания и настройки. К «учебным» можно отнести, например, блочные КВ супергетеродины, приемники с приставками. В них допускается широкая замена деталей, использование готовых узлов. Опыт конструирования измерительных приборов и работы с ними также оказывается весьма полезным. И, наконец, интерес к работе обычно усиливается, если работа оканчивается успешно. В этом смысле работы по выполнению приборов для настройки и их применению, простые эксперименты с узлами при их налаживании позволяют расчленить довольно протяженный период конструирования всего приемника на ряд более коротких этапов, представляющих самостоятельный интерес. Для успешного завершения этих этапов в книге описаны те из схем, настройка которых упрощена, а работоспособность повышена. При этом более сложные схемы выполняются из комбинаций простых.

Если сразу конструировать сложный приемник на миниатюрных деталях (с высокой плотностью монтажа) со сложным переключателем (с большим числом контактов) и новыми активными элементами, например, полевыми транзисторами, то он может оказаться по ряду причин сразу неработоспособным, а настройка и налаживание его весьма длительными и трудоемкими процессами. Причинами неисправностей могут явиться: ошибки при монтаже, окисление контактов переключателя, паразитные связи между каскадами из-за близкого расположения деталей, неработоспособность полевых транзисторов и т. п. Если предусмотреть разумное упрощение узлов, исключение переключателя, монтаж активных элементов на панельках с обеспечением возможности их быстрой замены (подбора), использовать узлы, налаживание и настройка которых существенно упрощены, то приемник будет работать после первого же включения или после непродолжительного налаживания.

Приемник — часть комплекса. Процесс непрерывного совершенствования аппаратуры, имеющий целью повышение качества звучания и упрощение эксплуатации, привел к тому, что современная бытовая радиоаппаратура имеет вид достаточно сложного комплекса, частью которого является приемник. Основу комплекса обычно составляет мощный УНЧ со многими коммутируемыми входами (УКУ), выпрямителем, мощными акустическими системами. Приемники в корпусах большого объема (для улучшения акустики) со встроенным источником питания, УНЧ и головками громкоговорителей (динамиками) уже не выпускаются промышленностью, а компоновка такого типа сохранилась лишь в портативных конструкциях. Дело в том, что специализированные узлы обеспечивают более высокое качество работы и противоречивые требования к ним удовлетворяются лучше при их автономии. Другими словами, в современном комплексе приемник — источник программ так же, как и магнитофон, проигрыватель и т. п. Более того, собственно приемное устройство сегодня конструируется и оформляется как тьюнер — источник высококачественного сигнала, преимущественно с трактом УКВ для стереопрограмм ЧМ вещания. Целесообразнее сначала конструировать приемную схему супергетеродинного типа, с детектором, в виде блока-приставки к УНЧ, питающейся от выпрямителя, встроенного в УНЧ. Это позволяет исключить воздействие мощных узлов на работу других узлов, сократить время на конструирование. Заметим, что достаточно мощный УНЧ имеется в современных магнитофонах и электрофонах с автономными звуковыми колонками. В большинстве случаев выполненный любительский приемник может быть подключен к гнезду *Приемник* — входу УНЧ этих устройств.

Процесс совершенствования приемных схем привел к значительному их усложнению. Удобные в эксплуатации клавишные устройства управления требуют компоновки сложных барабанных или многоконтактных переключателей на единой печатной плате радиотракта, причем общее число контактов у последних часто доходит до 150. Основные недостатки переключателей: низкая надежность контактов и значительная длина проводников от переключателей к узлам схемы. По этим причинам при промышленном производстве схема приемника и конструкция его основной платы тщательно и всесторонне отрабатывается. В результате устраняются причины, которые могут привести к нарушению режимов работы, самовозбуждению; схема подчас усложняется для обеспечения удобства ее производства и настройки.

Монтаж каждого узла на отдельной плате из текстолита или стеклотек-

столита, при котором часть проводников просто приклеивают к плате, общую шину и шину питания выполняют из медных ленточек, а часть деталей монтируют навесным способом, позволяет получить хорошие результаты с меньшей затратой времени, более тщательно выполнить схему. В то же время блочное построение, при котором блоки отдельных поддиапазонов могут вводиться в строй поочередно (без ожидания готовности всех узлов), позволяет сократить время конструирования и совершенствовать каждый следующий узел, используя опыт выполнения предыдущего. Иными словами, ошибки, допущенные при выполнении одного из блоков, могут быть исправлены без переделки всего приемника.

УСЛОВИЯ РАБОТЫ ПРИЕМНИКА И ТРЕБОВАНИЯ К НЕМУ

Роль антенны. Антенна осуществляет первичную селекцию: из огромного количества различных сигналов она выделяет только те, на которые сама настроена или в направлении передатчиков которых ориентирована. Среди сигналов, принятых антенной, различают полезный сигнал и помехи. Последние, как и собственные шумы, и искажения в процессе усиления, следует ослаблять всеми возможными способами. Однако нас интересует не столько сам уровень помех или шумов, сколько превышение сигнала над ними, поэтому качество приема определяется многими факторами: мощностью передающей станции, ее удалением, состоянием среды, по которой распространяются радиоволны, качеством самого приемника и его антенны.

Использование более эффективной антенны (особенно антенны направленного действия) даже при наличии относительно простого приемника может повысить качество приема. Следовательно, чтобы улучшить отношение сигнал-помеха, следует не только ослаблять помехи, но и не «терять» полезный сигнал, стараться его сохранить и подвести без потерь от антенны к первому усилителю, например, к УВЧ.

Предположим, что некоторый приемник расположен в сельской местности (с низким уровнем индустриальных помех), снабжен эффективной антенной направленного действия и настроен на волну удаленной станции. Даже если помеха приему будет создаваться более мощной и близкой станцией, расположенной вне сектора направленного приема, ослабление помехи будет происходить за счет пространственной селекции. При расширении диаграммы направленного действия антенны в приемник попадет большее число помех. Они создаются действием Солнца, близкими грозами, сотнями радиостанций больших и малых городов, авиационными, морскими и сухопутными передвижными радиостанциями, радиолокационными и телевизионными станциями и т. д. Когда антенна не направлена, на приемник действуют помехи со стороны ближайшего города с тысячами разнообразных источников, помехи от линии электропередач, железнодорожных линий, автомобилей без защитных устройств и т. п. Помехи большого города воспринимаются чувствительными приемниками в десятках километров от него, в диапазонах от десятков килогерц до десятков мегагерц.

Когда прием ведется в городе, влияние индустриальных помех возрастает и к уже перечисленным источникам добавляются новые (особенно вызывающие искрообразование): трамваи, троллейбусы, рекламные устройства, сварочные аппараты, плавильные печи заводов и другие промышленные источники. Все перечисленные устройства обязаны иметь средства защиты: кожухи-экраны,

фильтры, заземления, конденсаторы и резисторы искрогашения. Однако неисправность или несовершенство указанных средств и их неверная установка позволяют мощным колебаниям токов и напряжений в различных цепях и устройствах излучаться в пространство, а также распространяться по проводам сетей питания, к которым могут подключаться и приемники.

Наконец, при нахождении приемника и его антенны внутри современного городского дома из железобетона условия приема можно сравнить с условиями, когда приемная аппаратура находится внутри экранированной «камеры». В зависимости от положения дома по отношению к фронту приходящих радиоволн и ряда других условий, полезный принимаемый сигнал внутри него ослабляется часто на 20 дБ и более. При этом внутри самой «экранированной» от сигнала «камеры» проявляется действие специфических полей помех от неисправной бытовой аппаратуры, приборов, звонков, моторов лифтов и т. п., распространяющихся по электропроводке дома. Для усиления сигнала в каждом конкретном случае, т. е. для определенных условий приема, следует использовать более направленные и эффективные антенны. В ряде случаев весьма эффективны удлиненные магнитные (ферритовые) антенны, активные антенны, укороченные и нормальные дипольные антенны и т. п. Более подробные пояснения приведены в [2].

Диапазоны принимаемых частот. Они определяются частотами передающих радиостанций, установленными международными соглашениями, которые выделяют определенные диапазоны частот для радиовещания (рис. 5, группа *А*), любительского обмена (группа *Б*) и т. п. На рис. 5 показаны участки частот

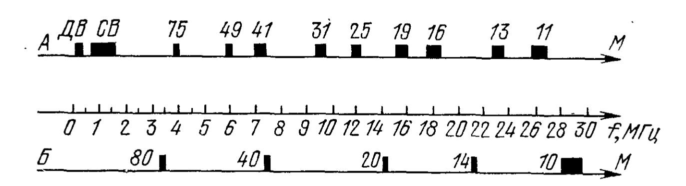


Рис. 5. Диапазоны частот, выделенные для радиовещательных станций (*А*) и радиолюбительского обмена (*Б*)

для радиостанций (диапазоны обозначены в метрах) и дана общая для групп *А* и *Б* шкала частот в мегагерцах. Заметим, что имеется тенденция к использованию для радиовещания все более высокочастотных диапазонов для размещения в них большого количества станций. С другой стороны число диапазонов определяется сложностью приемника, наличием необходимых деталей: ВЧ контуров, КПЕ, переключателей, активных элементов и т. п., а также структурой приемника. Наиболее сложны приемники с автономными ВЧ узлами для каждого диапазона, но они могут обеспечить реализацию более высоких параметров, так как эти узлы можно подобрать оптимальными, именно для работы в выбранных диапазонах частот. Такие приемники могут иметь общий УПЧ для группы ВЧ узлов. Возможны и другие варианты. Широкое распространение получили способы смены диапазонов, основанные на использовании для группы поддиапазонов общего КПЕ и различных катушек или общей катушки индуктивности, к которой подключаются различные по емкости дополнительные конденсаторы. Чем больше число «растянутых» поддиапазонов, тем сложнее пере-

ключатель и более громоздка группа подстроечных конденсаторов. Часто на всю шкалу «растягиваются» поддиапазоны частотных участков 49, 31, 25 м КВ диапазона (табл. 1).

Основные параметры приемников. Определяются согласно ГОСТу [3].

Чувствительность приемника — наименьшая величина входного сигнала, обеспечивающая при некоторых условиях заданную выходную мощность.

Таблица 1

Некоторые данные о диапазонах частот

Диапазон		Границы диапазона в длинах волн, м	Границы диапазона в частотах, МГц	Суженные границы, используемые иногда при растягивании диапазонов в КВ приемниках, МГц
ДВ		2000 — 735	150 — 408 кГц	
СВ		550 — 185	525 — 1605 кГц	
КВ	75 м	76 — 73	3,95 — 4,1	
	49—50 м	51,7 — 47,6	5,8 — 6,3	5,95 — 6,2
	41 м	43,5 — 40	6,9 — 7,5	7,15 — 7,3
	31 м	31,9 — 30	9,4 — 10,0	9,5 — 9,7
	25 м	26,3 — 24,8	11,4 — 12,1	11,7 — 12,1
КВ для радиолюбителей	20 м			15,0 — 15,5
	14 м			21,0 — 21,45

Реальная чувствительность — чувствительность при стандартной выходной мощности и отношении сигнал-шум на выходе не менее заданного. Для переносных устройств выходная мощность, например, принимается равной 5 мВт, для настольных (стационарных) — 50 мВт.

Максимальная чувствительность — чувствительность при стандартной выходной мощности и положении регулятора громкости, соответствующем максимальной громкости. В диапазонах ДВ, СВ и КВ реальную чувствительность определяют следующим образом. От генератора стандартных сигналов (ГСС) через эквивалент антенны ко входу приемника подводят ВЧ напряжение, модулированное частотой 400 или 1000 Гц с глубиной модуляции 30%, при котором на выходе точно настроенного на частоту ГСС приемника выделяется мощность 50 мВт. При этом регулятор усиления устанавливается в положение, при котором при выключенной модуляции ГСС напряжение шумов на выходе соответствует мощности 0,5 мВт. Такой порядок измерения установлен для того, чтобы учесть влияние собственных шумов приемника на его чувствительность. Сигнал на входе должен превышать уровень шумов не менее чем в 10 раз (на 20 дБ). Если напряжение шумов чрезмерно, усиление уменьшают (что снижает и чувствительность). При измерении максимальной чувствительности устанавливают узкую полосу и измеряют отношение сигнал-шум на выходе приемника. Если оно оказывается меньше 3 дБ, то максимальную чувствительность определяют как реальную чувствительность при отношении сигнал-шум, равном 3 дБ. Чувствительность бытовых приемников обычно не превышает 50 мкВ, и ее увеличение нецелесообразно, так как и она большей частью не реализуется: слабые сигналы «забиваются» внешними шумами и помехами.

Ориентировочные значения коэффициентов усиления каскадов для современного сложного транзисторного приемника следующие: УВЧ — 5÷10; преобразователь — 20÷30; первый каскад УПЧ — 50÷70; второй каскад УПЧ — 30÷60; предварительный каскад УНЧ — 100÷300; оконечный (мощный) каскад УНЧ — 10. Общее усиление УНЧ, коэффициент нелинейных искажений (КНИ) и выходное сопротивление УНЧ определяются глубиной отрицательной обратной связи (ООС), установленной в УНЧ.

Номинальная мощность — развивается при номинальном напряжении на звуковой катушке головки (громкоговорителя). Упрощенные расчеты ведут, считая, что сопротивление на частоте проверки (обычно 1 кГц) при установленном значении КНИ часто омическое. Номинальная мощность определяется по формуле $P_н = U^2_н/R$, где $U_н$ — номинальное напряжение на звуковой катушке. Так, например, при напряжении 3,3 В на катушке с сопротивлением 4 Ом выходная мощность близка к 2,5 Вт. Заметим, что в бестрансформаторных УНЧ напряжение на их выходе и является напряжением на звуковой катушке.

Селективность характеризует способность приемника ослаблять мешающие сигналы, проникающие по различным каналам приема. Наиболее часто селективность (ее называют статической) определяют простым односигнальным методом, сущность которого заключается в следующем. После настройки приемника на определенную частоту ГСС расстраивают ГСС в обе стороны от этой частоты и увеличивают напряжение на его выходе с помощью аттенюатора до тех пор, пока на выходе приемника (или выходе детектора) вновь получат напряжение, соответствующее стандартной выходной мощности. Тем самым исключают влияние АРУ. Отношение измеренных напряжений при фиксированной расстройке на 9 (или 10) кГц выражают в децибелах.

Полоса пропускания (*П*). Определяется следующим образом: расстраивают ГСС в обе стороны от резонансной частоты, чтобы напряжение, установленное для получения на выходе приемника мощности 50 мВт, при расстройке было бы в 1,41 раза больше напряжения при точной настройке. Полоса пропускания определяется как разность определенных расстройкой частот; она устанавливается из соображений неискаженного воспроизведения сигнала, т. е. зависит от ширины спектра частот принимаемого полезного сигнала. Для АМ сигналов $П \approx 2F_в$, где $F_в$ — верхняя составляющая спектра модулирующего сигнала.

Зеркальный канал. Дополнительный канал приема, отличающийся от частоты настройки на значение, равное удвоенной промежуточной частоте. Ослабление сигнала, поступающего по зеркальному каналу, проверяют по увеличению напряжения ГСС, при его расстройке на $2f_{ПЧ}$ в сторону больших частот (при $f_{гет} > f_с$) в зоне высших частот каждого поддиапазона. Частоту ГСС подстраивают в процессе измерения по максимуму напряжения на выходе приемника.

Коэффициент нелинейных искажений — отношение среднеквадратической суммы спектральных компонентов выходного сигнала, отсутствующих в спектре низкочастотного входного сигнала или модулирующего напряжения ВЧ входного сигнала, к среднеквадратической сумме спектральных компонентов, имеющихся во входном сигнале. Нелинейные искажения возникают в процессе усиления и преобразования сигналов. Обычно допустимы 3—5 %-ные искажения. Коэффициент нелинейных искажений связан с уровнем выходной мощности. Так, например, *максимальная выходная мощность* определяется допустимым увеличением коэффициента гармоник в выходном напряжении до 10 %. По этой

причине максимальную выходную мощность УНЧ и акустических систем значительно увеличивают с тем, чтобы при работе с малыми уровнями мощности указанные устройства практически не создавали бы искажений.

Частотные искажения. Результирующее их значение определяется кривой верности всего тракта приемника ДВ, СВ, КВ при 30 %-ной глубине модуляции колебаний ГСС и выходной мощности, равной 25 % от номинальной, путем изменения частоты модуляции. Регистрируется выходное напряжение. Ослабление крайних (высокочастотных) спектральных составляющих сигнала происходит во входной цепи, УВЧ (при высокой добротности контуров на ДВ и СВ), в УПЧ (при низкой полосе) и в УНЧ. Кривая верности показывает, в какой мере НЧ сигнал на выходе приемника соответствует модулирующему НЧ сигналу на передающей радиостанции. Допустимы частотные искажения менее 3—5 дБ: в УВЧ (до 0,5 дБ), УПЧ (2,5—3 дБ), УНЧ (1—2 дБ). Искажения этого вида прямо связаны с неравномерностью амплитудно-частотных характеристик различных узлов приемника. Заметим, что значительные усилия по их совершенствованию сводятся на нет при низком качестве акустической системы, например, при использовании в ней головок устаревших типов с неравномерностью 12—15 дБ и более.

Обычно в приемниках АМ сигналов невысоких классов полоса воспроизводимых частот составляет 5—6 кГц и редко превышает 7—8 кГц. Такие приемники содержат относительно маломощные и узкополосные УПЧ, работающие с головками невысокого качества. Но при приеме местных и мощных станций качество воспроизведения можно улучшить, используя относительно простые приемники в виде приставок к мощным современным УНЧ со звуковыми колонками. Дело в том, что мощные УНЧ имеют малое выходное сопротивление за счет действия глубокой ООС, охватывающей подобные усилители, а это сопротивление подсоединено параллельно звуковым катушкам головок в колонках, что обеспечивает высокий коэффициент электрического демпфирования. Излишние свободные колебания диффузоров головок стараются подавить и механическим демпфированием, например, заполняя объем колонок с головками ватой, пористым материалом.

Некоторое улучшение качества воспроизведения узкополосного монофонического сигнала обеспечивают и с помощью стереофонических широкополосных УНЧ. Для этого на выходе детектора приемника устанавливают две *RC* цепочки. Частоту разделения выбирают около 1—2 кГц. При этом напряжения с частотами ниже частоты раздела «направляют» в один канал, например, левый, а высокочастотные составляющие НЧ сигнала подводят ко входу другого, например, правого канала УНЧ. Повышение качества воспроизведения особенно ощутимо при местном приеме на доработанных супергетеродинах с отключаемой цепью АРУ и уменьшенной чувствительностью, а также при местном приеме посредством приемника прямого усиления или УКВ супергетеродина — приставки.

Важным выводом является и следующий. Все основные параметры, включая и параметры качества воспроизведения звука, желательно тщательно оценивать и как можно точнее измерять, а также сравнивать. Это возможно только при использовании приборов.

Выбор промежуточной частоты. В диапазонах частот, выделенных для использования в качестве промежуточных, не должны работать мощные радиостанции, поэтому значения ПЧ дискретны и устанавливаются международными соглашениями. Основное противоречие возникает между требованиями к УПЧ

как к фильтру и требованиями подавления зеркальных или симметричных помех. Чем выше частота $f_{\text{ПЧ}}$, тем легче борьба с подобными помехами. Заметим, что чрезмерное усложнение входных цепей для борьбы с симметричными помехами не всегда приводит к желаемому результату: уменьшается полезный сигнал, растет влияние собственных шумов, появляются дополнительные искажения в процессе усиления ВЧ сигнала. Чем выше промежуточная частота $f_{\text{ПЧ}}$, тем меньше помехи и от комбинационных напряжений, образующихся в преобразователе при приеме станций, работающих на частотах $f_c = f_{\text{гет}} \pm 1/2 f_{\text{ПЧ}}$. Но с ростом $f_{\text{ПЧ}}$ одновременно уменьшается селективность, так как ветви частотных характеристик фильтра УПЧ с повышением частоты становятся более пологими. По этим (и ряду других) причинам в радиовещательных приемниках со многими диапазонами значение f выбирают равным 465 кГц. В специальных приемниках, предназначенных только для приема КВ станций, это значение выбирают большим (до нескольких мегагерц), а для приема в диапазоне ДВ — уменьшают, например до 120 кГц, что позволяет реализовать *LC* фильтры ФСС с характеристиками близкими к прямоугольным.

Нетрудно заметить, что чем выше частота принимаемого сигнала и уже полоса пропускания ФСС, тем выше должна быть стабильность частоты гетеродина, которая соответствует приему данного сигнала. В противном случае из-за плохой стабильности частоты гетеродина сигнал на выходе приемника либо периодически изменяется, либо, когда уход частоты происходит только в одну сторону, прекращается совсем. Так как множество мощных и слабых помех может присутствовать в любом участке частотного диапазона, то помехи могут проникать в приемник и по другим дополнительным каналам, например, таким, частоты которых находятся из выражения $f_{\text{доп}} = \frac{p}{r} f_{\text{гет}} \pm \frac{1}{r} f_{\text{ПЧ}}$, где r и p числа 1, 2, 3 и т. д. Например, $f_{\text{доп1}} = 2f_{\text{гет}} - f_{\text{ПЧ}}$; $f_{\text{доп2}} = 2f_{\text{гет}} + f_{\text{ПЧ}}$. Борьба с такими помехами зависит как от правильного выбора $f_{\text{ПЧ}}$, так и от степени уменьшения крутизны преобразования на высших гармониках гетеродина. Отметим, что при сильном входном сигнале иногда достаточно понизить амплитуду гетеродина, чтобы уменьшить его высшие гармоники и тем самым несколько снизить действие помехи. Это происходит, когда уменьшается перегрузка гетеродина. При этом уменьшается выходное напряжение гетеродина и одновременно уменьшается амплитуда гармоник. Хотя на выходе преобразователя напряжение промежуточной частоты тоже снижается, отношение сигнал-помеха несколько увеличивается.

Глава вторая

ЭЛЕМЕНТЫ ПРИЕМНИКА И ПРИБОРЫ ДЛЯ ЕГО НАСТРОЙКИ

АКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Для работы в приемных устройствах активные элементы должны иметь: высокое входное сопротивление (для повышения коэффициента передачи, выполнения контуров без отводов и катушек связи), большую крутизну *S* (для обеспечения значительного усиления), малые собственные шумы, стабильность, экономичность, большой срок службы и т. д. Специфическое требование: малое значение проходной проводимости, наличие которой обусловливает возникнове-

ние паразитных связей в усилителях, затрудняющих реализацию высокого и стабильного усиления. Проходные проводимости в каскадах с постоянной рабочей частотой могут быть нейтрализованы, но это ведет к усложнению их схем.

Биполярные транзисторы имеют значительные проходные проводимости, поэтому при выполнении многокаскадных резонансных усилителей (УВЧ и УПЧ) с активным прибором в каждом каскаде могут встретиться трудности. Для развязки входных и выходных цепей часто возникает необходимость использования двух или нескольких транзисторов, соединенных последовательно, особенно при использовании устаревших типов транзисторов с малой предельной граничной частотой усиления. Серьезным недостатком многих типов биполярных транзисторов являются повышенный уровень собственных шумов и зависимость обратных токов от температуры, уменьшающая стабильность их усилительных свойств [4—6].

Усилительные свойства биполярных транзисторов оценивают обычно параметром $h_{21э}$ — коэффициентом передачи тока в режиме малого сигнала в схеме с общим эмиттером, т. е. отношением изменения выходного тока к вызвавшему его изменению входного тока в режиме короткого замыкания выходной цепи по переменному току в схеме с общим эмиттером. Современные полупроводниковые приборы обладают параметрами, обеспечивающими эффективное усиление и преобразование сигналов. Однако, при сравнении различных типов активных элементов для этих целей, кроме указанных выше недостатков, можно отметить и другие: в том числе несовершенство формы характеристик (например, проходной), затрудняющее конструирование каскадов.

Полевые транзисторы. Они обладают меньшими входными емкостями (более высоким входным сопротивлением), проще сопрягаются с контурами, имеют пониженные шумы. Характеристики управления (сток—затворные или проходные) имеют практически квадратичный характер на значительных участках, поэтому при усилении и преобразовании нелинейные и перекрестные искажения даже при увеличенных $U_с$ и $U_{гет}$ невелики, значительно ниже чем у биполярных транзисторов в тех же условиях. Проходная емкость низкочастотных полевых транзисторов 5—8 пФ. Они работают на частотах до 1 МГц; у специальных ВЧ приборов она уменьшена до 0,5—0,8 пФ (работают на частотах в десятки мегагерц). Высокочастотные двухзатворные приборы ($f_{раб}$ до 200 МГц) имеют проходную емкость в сотые доли пикофарад. Приборы с изолированным затвором имеют большое входное сопротивление на постоянном токе и на радиочастотах. Последнее обстоятельство можно эффективно использовать при конструировании различных измерительных приборов и узлов приемников. К колебательным контурам можно непосредственно подключать каскады, выполненные по схеме истоковых повторителей. Их сопрягают с биполярным транзистором или непосредственно со следующим контуром, реализованным по автотрансформаторной схеме. В результате потери сигнала оказываются меньше, чем при использовании катушек связи.

Требования, содержащиеся обычно в указаниях по монтажу полевых транзисторов (работать на металлическом листе, «заземлить» руки и жало паяльника), можно не выполнять, если предварительно подготовить транзистор к пайке. Для этого трубочку, закорачивающую концы выводов, нужно сдвинуть вверх с тем чтобы обозначить (краской) выводы. Затем трубочку сдвигают вниз и обматывают верхние участки выводов и часть корпуса транзистора пучком мягких отожженных медных проводников. Для удобства смены транзистора

его лучше припаять к небольшому разъему. По другому способу, трубочку сдвигают вверх, выводы слегка обрезают и скручивают вместе со вспомогательными проводниками, предварительно припаянными к плате или небольшому разъему. Место выводов обматывают клейкой лентой, чтобы образовался поясок, за который затем руками берут транзистор. Если полевой транзистор надежно изолирован, меры безопасности можно свести только к выключению питания транзисторов перед моментом снятия или постановки их разъемов в ответные гнезда, заранее впаянные в схему. Все транзисторы монтируют на разъемах однообразно, отгибая все выводы одинаково и укорачивая их на одну и ту же длину. Недостаток полевых транзисторов — относительно малая крутизна.

Шумы полевых транзисторов. Для конкретных типов приборов определяются по справочникам. Они зависят от сопротивления канала постоянному току, температуры, ширины полосы частот, в которой измеряют шум, и малосигнальной крутизны S в рабочей точке. Сравнивать шумовые свойства биполярных и полевых транзисторов можно по показателю коэффициента шума $K_ш$.

На средних частотах для полевых транзисторов любого типа $R_{ш.э}=0{,}5/S$, поэтому меньшими шумами обладают приборы с большей крутизной. Их выбирают так, чтобы в тех узлах, где уровень сигнала невысок, по возможности использовались приборы с малыми шумами. На входе приемника (входной цепи и УВЧ) используют приборы типа КП303 с индексами Д и Е, имеющие $K_ш$ менее 4 дБ. Для сравнения укажем, что часто используемые в радиолюбительской практике биполярные транзисторы типа ГТ308В имеют $K_ш$ около 8 дБ, т. е. при тех же условиях создают в 2,5 раза большие шумы. На входе УНЧ используют приборы типа КП302 или КП103. В первых каскадах УПЧ желательно использовать полевые транзисторы типов КП302, КП308, а в преобразователях и смесителях — приборы указанных ВЧ типов или приборы с двумя затворами (КП350, КП306). Последние имеют повышенные по сравнению с КП303 шумы, но обеспечивают ряд других преимуществ. Шумы УВЧ и УПЧ стараются существенно уменьшить лишь в приемниках большой чувствительности.

Типы полевых транзисторов. Наиболее распространены приборы с управляющими переходами и изолированными затворами. Последние могут иметь встроенные или индуцированные каналы p или n типов. Проходная характеристика прибора с управляющим переходом показана на рис. 6,*а*, на котором также отмечены характерные точки: $I_{С\,нач}$ — сток стока при соединении затвора с истоком и $U_{ЗИотс}$ — напряжение на затворе, при котором $I_С$ мал и уже не управляем. Характеристики, подобные изображенной на рис. 6,*а*, имеют приборы типов КП103, КП302, КП303. Их отличие в том, что полярности напряжений на стоке и затворе противоположны. Для работы таких транзисторов в цепи их истоков включают $R_иC_и$-цепочки автоматического смещения. Характеристики типа показанной на рис. 6,*б* имеют транзисторы КП305 с индексами Е и Ж (со встроенными каналами). Они могут работать при напряжениях на затворе близких к нулю (при $R_и=0$). На рис. 6,*в* даны характеристики полевых транзисторов с индуцированным каналом (пример — КП301, КП304). Характеристики зависят от напряжения на подложке. Она может служить вторым затвором.

Составными транзисторами называют сочетания двух приборов: полевого и биполярного, непосредственно или через минимум дополнительных элементов, связанных один с другим. Такой транзистор можно представить в виде неко-

торого эквивалентного прибора, входным электродом которого является затвор, а выходная цепь может являться эмиттерной или коллекторной.

На рис. 7 упрощенно показаны разновидности составных активных элементов, в которых использованы полевые транзисторы с управляющим переходом

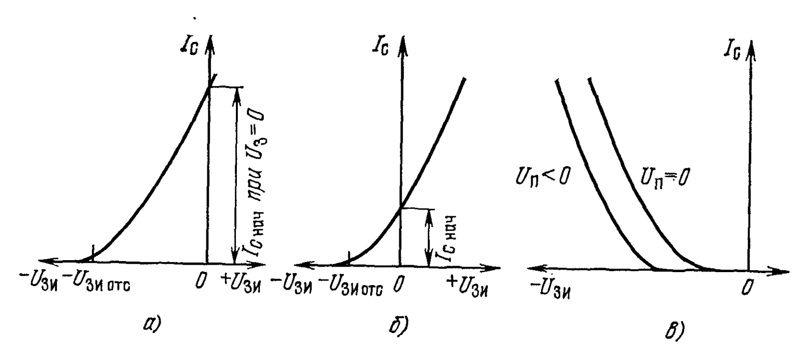


Рис. 6. **Характеристики полевых транзисторов:**
а — **с управляющим переходом;** *б* — **со встроенным каналом;** *в* — **с индуцированным каналом ($U_п$ — напряжение на подложке)**

и каналами *p* и *n* типов. Они обеспечивают полезное сочетание свойств активных элементов, наиболее важными из которых являются: малая проходная (обратная) проводимость (или малая емкость, связывающая выходную и входную цепи), высокое входное сопротивление. При соединении активных элементов нужно учитывать типы каналов и проводимостей, полярность источников пита-

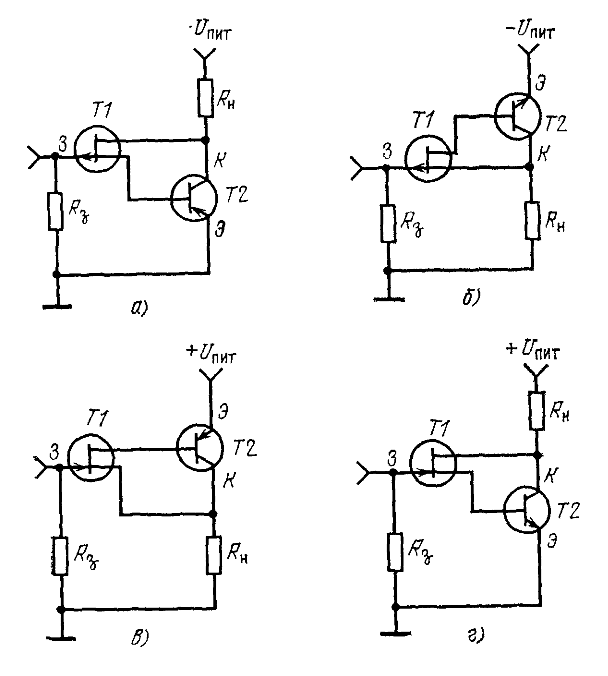


Рис. 7. Схемы соединения полевых и биполярных транзисторов в составном активном элементе:
а — полевой транзистор с управляющим *p* каналом и биполярный *p-n-p* типа; *б* — полевой транзистор с *p* каналом и биполярный *n-p-n* типа; *в* — полевой транзистор с *n* каналом и биполярный *p-n-p* типа; *г* — полевой транзистор с *n* каналом и биполярный *n-p-n* типа

ния. Сопротивление резистора $R_з$ соответствует сопротивлению резистора, используемого в цепи затвора полевого транзистора. Резисторы $R_э$ и $R_к$ должны рассчитываться на общий ток двух активных элементов.

Принципиальная схема каскодного малошумящего резонансного каскада с высоким $R_{вх}$ и повышенным $R_{вых}$ (для использования в УВЧ или УПЧ) приведена на рис. 8,*а*. В ней биполярный транзистор включен по схеме с общей базой и обеспечивает основное усиление (до 100 и выше) и высокое $R_{вых}$. Максимальное усиление обеспечивают подбором сопротивлений резисторов *R1—R3*. Проще подобрать *R3* при заранее выбранных *R1* и *R2*. Обычно стараются обеспечить не максимальное, а меньшее, но более устойчивое (стабильное) усиление каскада. Его устанавливают резистором *R3*, определяя измерительным прибором общий ток через транзисторы. Миллиамперметр включают в цепь питания, в точке Б (рис. 8,*а*). Обычно для подобных каскадов этот ток находится в пределах 1—1,5 мА. Для настройки резистор *R3* временно заменяют двумя резисторами: постоянным *R'3* для исключения возможности перегрузки полевого транзистора при настройке и подстроечным (*R''3*) для установки режима (рис. 8,*б*).

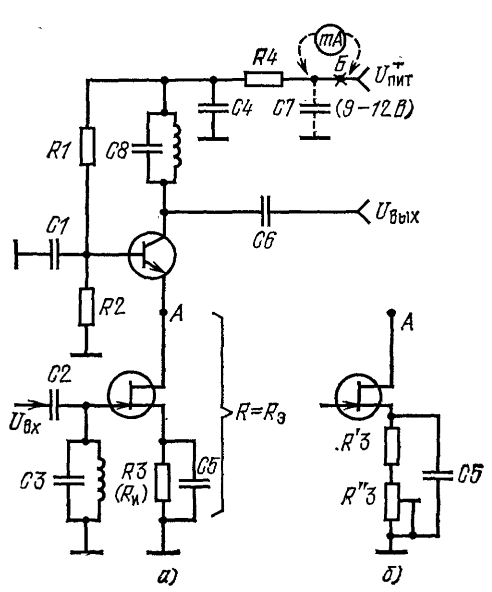


Рис. 8. Каскодный усилитель на биполярном и полевом транзисторе:
а — принципиальная схема; *б* — вариант включения истоковых резисторов, используемых при налаживании усилителя

У полевых транзисторов с управляющим переходом необходимое напряжение смещения на затворе может образовываться в нескольких цепях. Его можно получить на резисторе, стоящем в цепи истока, на высокоомных резисторах в цепи управляющего электрода — затвора (сотни килоомов) за счет включения дополнительного делителя, а также одновременно на двух указанных резисторах. При подключении колебательного контура непосредственно к затвору, смещение получают обычно на истоковом резисторе $R_И$, зашунтированном конденсатором $C_И$ с емкостью 0,01—0,1 мкФ. У приборов с изолированным затвором ток между затвором и истоком чрезвычайно мал, поэтому потенциал затвора фиксируют с помощью делителя напряжения. При этом резистор в цепи истока может отсутствовать. Когда резистор включают, на нем выделяется дополнительное напряжение смещения, зависящее от тока стока (равен току истока). Такое включение создает цепь ООС по току и тем самым повышает стабильность режима работы каскада. Сопротивления резисторов делителя напряжения выбирают с учетом напряжения источника питания и сопротивления источника сигнала. Когда этим источником является контур, сопротивление резисторов делителя увеличивают для уменьшения их шунтирующего действия.

При работе с полевыми транзисторами важно убедиться в работоспособ-

ности каждого из них. Простой способ проверки транзисторов с управляющим переходом осуществляется при наличии миллиамперметра и источников напряжения. Миллиамперметр (с учетом типа проводимости канала) включают в цепь стока последовательно с источником напряжения (9—10 В). Затвор соединяют с истоком. Измеряют ток стока, который в этом случае имеет достаточно большое значение. Затем затвор отсоединяют от истока и в цепь затвора вводят некоторое известное запирающее напряжение, например, от свежезаряженного щелочного аккумулятора (1,2 В), сухого элемента (1,5 В), кислотного аккумулятора (2,1 В), что приводит к последовательному уменьшению тока стока. По показаниям тока судят о примерном значении крутизны, считая характеристику между отсчетами условно прямой линией, а также грубо подбирают близкие по свойствам транзисторы.

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ КОНТУРЫ

В УВЧ и УПЧ нагрузкой активных элементов являются контуры. Коэффициент усиления каскада с резонансным контуром $K=SR_{\text{н}}$, где S — крутизна активного элемента в выбранной рабочей точке, а $R_{\text{н}}$ — эквивалентное активное сопротивление контура на его резонансной частоте. Рассмотрим особенности перестройки контуров по частоте, их свойства как нагрузочных сопротивлений, а также соотношения величин L и C в конкретных конструкциях.

Вначале рассмотрим идеальный контур — контур, не имеющий потерь. Его резонансная частота, обозначаемая $f_{\text{р}}$, зависит только от параметров L и C и определяется их произведением:

$$f_{\text{р}}=\frac{25\,300}{\sqrt{LC}},$$

где индуктивность (L) — в микрогенри; емкость (C) — в пикофарадах; частота $f_{\text{р}}$ — мегагерцах. Связь произведений LC с частотой приведена в табл. 2. Она включает в себя частоты, входящие в основные поддиапазоны, используемые для радиовещания и радиолюбительской работы.

Таблица 2

Значения произведений LC для различных частот f

f, кГц	LC, мГн·пФ	f, МГц	LC, мкГн·пФ	f, МГц	LC, мкГн·пФ	f, МГц	LC, мкГн·пФ
520	93,68	3,5	2068	11,5	191,5	29,0	30,1
540	83,74	4,0	1583	12,0	175,9	30,0	28,1
560	80,77	5,5	837,4	14,0	129,2	40,0	15,8
800	39,58	6,0	703,6	14,5	120,5	50,0	10,1
900	31,27	7,0	517,0	20,0	63,3	60,0	7,0
1000	25,33	7,5	450,3	21,0	57,4	65,0	6,0
1500	11,26	9,5	280,6	22,0	52,3	70,0	5,2
1600	9,9	10,0	253,3	28,0	31,3	75,8	4,5

Реальный контур характеризуется суммарным сопротивлением потерь R_{Σ} за счет вихревых токов в обмотке и экране, утечек в изоляции. Потери разного вида имеются также в сердечнике и конденсаторе. В основном сопротивление

потерь R_Σ определяется сопротивлением обмотки катушки ($R_к$); оно слабо влияет на резонансную частоту $f_р$

$$f_р = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

(на частотах выше 100 МГц) и сильно на значение затухания колебаний в контуре d, причем чем больше d (меньше L, выше $R_к$ или произведение $CR_к$), тем меньше время t существования колебаний в контурах, возбужденных одним и тем же способом. Величину, обратную d, называют добротностью Q:

$$Q = \frac{1}{d} = \frac{\omega_р L}{R_\Sigma} \approx \frac{2\pi f_р L}{R_к}.$$

Добротность тем выше, чем больше индуктивность катушки L (величина ωL) и меньше суммарные потери в контуре. Индуктивные сопротивления ωL для некоторых частот приведены в табл. 3. При отсутствии приборов грубо оценивают примерную добротность согласно выражению:

$$Q = \frac{1000}{R_к}\sqrt{\frac{L}{C}},$$

где индуктивность (L) — в микрогенри; емкость (C) — в пикофарадах, сопротивление (R) — в омах. Это выражение для оценки добротности целесообразно использовать, если известна емкость контура C и его резонансная частота $f_р$

Таблица 3

Индуктивные сопротивления катушек ωL на различных частотах (кОм)

L, мкГн	Индуктивные сопротивления катушек, кОм				
	10 МГц	3 МГц	1,2 МГц	600 кГц	200 кГц
25	1,57	0,47	0,19	0,095	0,031
50	3,14	0,94	0,38	0,19	0,062
100	6,3	1,9	0,76	0,38	0,125
200	12,5	3,7	1,5	0,76	0,25
500	31,4	9,4	3,8	1,9	0,63
1000	63	18,9	7,6	3,8	1,26
5000	134	94	38	19	6,28
25000	1570	470	189	94,2	31,4
100000	6300	1890	756	378	126

(индуктивность L определяют из произведения $L \cdot C$, а $R_к$ измеряют). Добротность изменяется при перестройке контура в диапазоне частот, например, в ВЧ контуре, выполненном на основе секции КПЕ и катушки L. Выведение подвижных пластин из пакета неподвижных (уменьшение C) приводит к росту Q. Увеличивается Q и при замене ВЧ сердечника катушки на сердечник с лучшими магнитными свойствами. Индуктивность катушек ФСС увеличится при замене карбонильных сердечников на современные ферритовые сердечники, но рабочая частота ФСС понизится. Для получения прежнего значения частоты нужно заменить конденсаторы контуров на конденсаторы меньшей емкости. Добротность при этом возрастает, но полоса ФСС сужается.

Конкретные катушки одного диапазона частот сильно различаются по размерам и массе. Катушки приемников устаревших типов имели громоздкие экраны, наматывались высокочастотным проводом из 7—10 жил, сопротивление их составляло 4—5 Ом. В современных малогабаритных катушках подобный провод используется реже, но так как они имеют значительно меньший средний диаметр витка, общая длина обмотки сокращается до 1,5—3 м. Контурные катушки имеют почти в 2—3 раза меньшее сопротивление, что позволяет сохранить и даже увеличить Q (табл. 4). Катушки для ДВ и СВ диапазонов наматывают двумя-тремя слегка скрученными проводниками (ПЭ 0,06—ПЭ 0,1) на малогабаритных каркасах с тремя-четырьмя секциями. Стабильность параметров катушек зависит от постоянства зазоров у частей сердечника, жесткости каркаса, малых потерь у основных деталей, а также у самого сердечника [7].

Таблица 4

Примерные моточные данные катушек СВ диапазона

Тип сердечника или каркаса	Число витков в катушке		Добротность $Q_{макс}$
	$C_{макс}=150$ пФ	$C_{макс}=250$ пФ	
СБ-12,а	160	125	120—200
СБ-9,а	170	140	120—200
Полистироловый стандартный 4-секционный с подстроечным сердечником Ф= =600 (600 НН)	4×75	4×60	100—120
Ферритовое кольцо (600 НН) Ø 7 мм	140	110	120—140 (в зависимости от зазора)
Стержень 600 НН $l=25$ мм; Ø 8 мм	110	80	60—90
Стержень 600 НН $l\approx12$—18 мм; Ø 2,8 мм	140—150	120—130	80—100

Связь добротности с полосой пропускания. Уменьшение полосы пропускания контура при росте Q накладывает ограничение на эту величину. Действительно, $Q=f_р/2\Delta f_п$, где $2\Delta f_п$ — полоса пропускания на уровне 0,707. При большом значении Q одиночный резонансный контур «срезает» крайние в спектре сигнала высокочастотные составляющие. Это явление наиболее ощутимо в диапазоне ДВ и на низкочастотном участке СВ диапазона. Поэтому оно должно учитываться при конструировании ВЧ узлов указанных диапазонов.

Одиночные контуры для НЧ части СВ диапазона должны иметь $Q=55$—52 (для ДВ еще меньше), поэтому селективность по зеркальному каналу, создаваемая ими, весьма невелика. Для расширения полосы пропускания и одновременного увеличения селективности во входных цепях (см. рис. 4,*б*) устанавливают двухконтурные связанные цепи. Они обеспечивают лучшую форму и большую прямоугольность амплитудно-частотной характеристики входной цепи, что способствует улучшению подавления помех при значительной их отстройке. Недостатком сложной входной цепи является необходимость применения строенного КПЕ. Заметим, что некоторая неизбежная расстройка связанных контуров (за счет разброса емкостей КПЕ, различия вносимых сопротивлений) приводит к

расширению суммарной полосы пропускания входной цепи и искажениям формы ее характеристики.

Для получения более равномерной характеристики и исключения появления на ней отдельных пиков часто дополнительно снижают добротность составляющих контуров, стараются уравнять их параметры. Контуры располагают в разных каскадах, например, во входной цепи и УВЧ, поэтому в идеальном случае они полностью независимы один от другого. Их общая частотная характеристика образуется перемножением ординат частотных характеристик отдельных контуров, поэтому суммарная характеристика подобной группы при настройке каждого из контуров на единую резонансную частоту сужается (рис. 9,*а*). Для

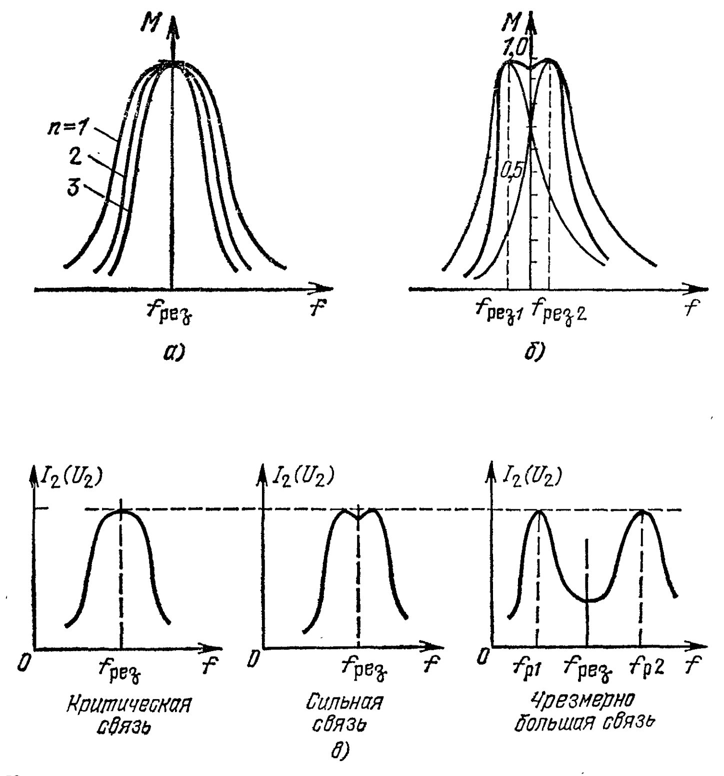


Рис. 9. **Нормированные амплитудно-частотные характеристики группы контуров:**
а — *n* независимых один от другого контуров, настроенных в резонанс; *б* — формирование суммарной характеристики (утолщенная линия) двух взаимно расстроенных контуров; *в* — ток во втором из двух связанных контуров в зависимости от степени связи

компенсации этого сужения приходится уменьшать добротность контуров, создавать «запас» по полосе пропускания. Как уже указывалось, суммарная характеристика взаимно расстроенных контуров разных каскадов расширяется (рис. 9,*б*).

Заметим, что небольшая взаимная расстройка контуров в разных каскадах, совместно перестраиваемых блоком КПЕ по частоте, неизбежна и это надо учитывать. На частотах выше 0,9—1,0 МГц ограничения, связанные с полосой пропускания, отпадают, поэтому параметры входных узлов приемника на вы-

сококачественных контурах улучшаются. Добротность определяется в процессе настройки. Настраивая ГСС так, чтобы измерительный прибор на выходе детекторной головки, присоединенной к контуру, показывал одинаковые отклонения стрелки, равные 70 % от максимального отклонения справа и слева от частоты резонанса, определяют разность частот настроек. Эта разность равна полосе пропускания контура ($2\Delta f_п$) на уровне 0,7.

На рис. 9,*в* показаны характеристики взаимно связанных контуров, настроенных на частоту $f_р$, например, контуров, входящих в состав УПЧ. Они расположены последовательно по степени увеличения связи между контурами. По осям ординат отложены токи второго из контуров или напряжения на нем в зависимости от частоты. При очень слабой связи (1—2 %) характеристика близка к характеристике одиночного контура. При связи, близкой к критической, характеристика связанных контуров становится более прямоугольной, а ее вершина почти плоской. Дальнейшее возрастание связи приводит к искажению вершины характеристики, появлению «провала» на частоте резонанса.

Конструирование катушек входных цепей и УВЧ. Основных типов конструкций насчитывается немного (три-четыре). Примерные свойства их сердечников даны в табл. 5. Просты в изготовлении катушки с подстроечным стержнем

Таблица 5

Действующая магнитная проницаемость сердечников различных типов

Тип сердечника	Материал сердечника	
	карбонильное железо	феррит
Цилиндрический	1,4 — 2,0	2 — 10
Катушечный	3,0 — 5,0	5 — 25
Броневой	3,0 — 6,5	10 — 50

диаметром 2,8—3 мм из феррита, которые наматывают «внавал» на полистироловые секционированные каркасы с внешним диаметром 10—12 мм. Их собственная добротность $Q=100—120$. Недостаток — необходимость взаимного удаления катушек (разных каскадов) из-за большого поля рассеяния. Обмотка — два слегка скрученных провода ПЭ 0,07—ПЭ 0,1.

Столь же проста и катушка, наматываемая на обмотанный бумажной прокладкой ферритовый стержень (например, часть стержня антенны) с диаметром 8 мм «внавал» или секциями, которые образуются одетыми на стержень полистироловыми шайбами. Средний диаметр ее витков меньше, но внешнее поле также велико. У броневых сердечников (типа СБ) внешнее поле почти отсутствует, добротность контуров с катушками на их основе увеличена, но выполнение каркаса и обмотки усложнено.

Наиболее предпочтительны для первых конструкций тщательно экранированные контурные катушки, создающие минимальное внешнее поле.

Эффективность использования магнитного материала для катушки (рис. 10) можно повысить, наматывая катушку *4* проводом *5* (с обязательной прокладкой) на тонком ферритовом стержне (*3*), а затем монтируя этот стержень в полости сердечника СБ (*1*) с удаленным керном. Стенки сердечника СБ являются для стержня *3* одновременно опорой, магнитопроводом и экраном. Для

изменения индуктивности концы стержня углубляют в одну из половин сердечника *1*, а на другой половине *2*, поворачиваемой относительно первой, выполняют прорезь *6*. После окончательной настройки положение половин сердечника *1* фиксируют.

Для малогабаритных сердечников число витков n определяется из выражения $n=a\sqrt{L_р}$, где $L_р$ — расчетная индуктивность; a — коэффициент, для сердечников СБ-12 равен 5,8. При намотке число витков n несколько увеличивают (на 10—15 %); лишние витки легко отмотать. При намотке сердечников непосредственно на стержень (или при очень плотной намотке без каркаса в броневых сердечниках) может увеличиться собственная емкость катушек, что крайне нежелательно.

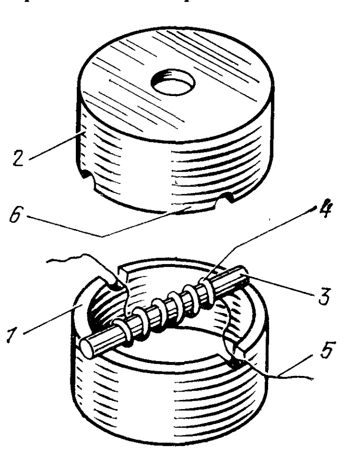


Рис. 10. **Контур на двух сердечниках, один из которых играет роль опоры и экрана**

Для уменьшения этой емкости следует применять намотку на тонких каркасах или бумажных трубках, предварительно выполненных по форме ферритового стержня или керна броневого сердечника. Это особенно важно при использовании низкочастотных оксиферовых сердечников (черного цвета) с $\mu_д=1000$ и более в НЧ контурах. Настраивают контуры обычно три раза. Предварительно — после изготовления для определения перекрытия, устанавливая орган регулировки в крайние положения. Вторую настройку осуществляют на «холодном» приемнике (без питания). Проверяют согласование настроек, уточняют диапазоны работы при подаче сигналов от ГСС. Окончательная подстройка производится при включенном питании (с учетом полного входного сопротивления активных элементов). Добротность контуров при этом иногда приходится снижать заменой сердечника, шунтированием резисторами для расширения полосы пропускания, исключения самовозбуждения, устранения влияния активных элементов, цепей АРУ и т. д.

Катушки КВ диапазонов. Обычно их наматывают с натягом в один слой проводом ПЭ 0,25—ПЭ 0,55 на жестком каркасе фабричного изготовления, например, из полистирола с диаметром 6,8 мм и длиной до 26 мм с подстроечным сердечником из феррита Ф-100. Чем стабильнее размеры катушки при действии различных внешних факторов, тем выше стабильность ее параметров. Лучшие каркасы — фарфоровые. Бескаркасные обмотки выполняют более толстым проводом с диаметром 1,0—1,5 мм. Обмотки наматывают виток к витку на оправку в виде стержня, а затем слегка растягивают. После выполнения обмотки ее слегка нагревают, чтобы снять механические напряжения. Удлиненные катушки без каркаса опускают разными сторонами в полистироловый клей, который после высыхания образует продольные натеки — перемычки между витками и взаимно их скрепляет. С этой же целью к спиралям витков приклеивают ВЧ ферритовые стержни малого диаметра или фарфоровые палочки. Малогабаритные катушки выполняют также на основе специальных ВЧ ферритов.

Выбор КПЕ. Выбор индуктивности катушек определяется диапазоном и типом используемого блока КПЕ. Наиболее распространенные КПЕ (ламповых устройств) имеют чрезмерно большую емкость секций $C_{макс}$. Их конструирова-

лы для многодиапазонных приемников с ДВ диапазоном, для катушки которых ($L_к \approx 2$ мГн) необходим конденсатор с емкостью $C_{макс}$=490—550 пФ. Для остальных диапазонов этот блок не всегда подходит, так как индуктивность $L_к$ приходится чрезмерно уменьшать.

В рассматриваемых конструкциях желательно использовать автономные блоки КПЕ для каждого диапазона. Рекомендуемые емкости $C_{макс}$ указаны на графике рис. 11. Данные о емкостях $C_{мин}$ и $C_{макс}$ некоторых КПЕ фабричного

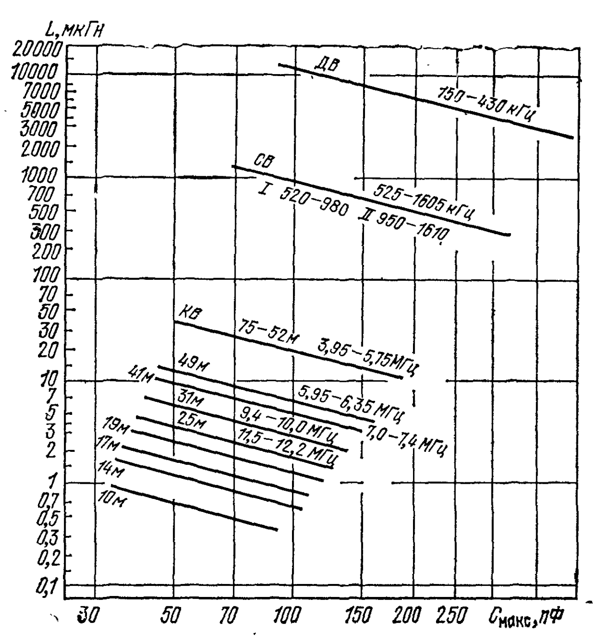


Рис. 11. Графики рекомендуемой емкости $C_{макс}$ КПЕ для различных диапазонов

изготовления с воздушным диэлектриком даны в табл. 6. Их целесообразно использовать в приемниках, у которых общий СВ диапазон разделен для удобства настройки на два и используются КВ диапазоны 75 и 49 м. В других КВ

Таблица 6

Рекомендуемые блоки КПЕ для различных диапазонов

Минимальная рабочая частота диапазона, кГц	Емкость, пФ		Рекомендуемые блоки КПЕ от приемников
	$C_{мин}$	$C_{макс}$	
150	12—15	450—550	Ламповых серий
525	10—12	250—350	«Спидола», «ВЭФ»
1000	8—10	200—250	«Альпинист», «Атмосфера-2»
1500—6000	8—10	75—150 (200)	«Космос»
6—30 МГц	6—8	50—75	Различные УКВ блоки КПЕ
Выше 30 МГц	3—6	30 и менее	УКВ КПЕ, «Океан»

диапазонах (31, 25 м и короче) следует применять готовые блоки КПЕ от УКВ устройств или доработанные КПЕ.

Доработка КПЕ. Ее проводят либо удалением части пластин, либо разделением пакета пластин на два с образованием двух секций вместо одной стандартной. Пластины осторожно удаляют после опиливания зачеканенных концов и расшатывания их в держателях. Пластины можно удалять с краев пакета или с одной стороны, образуя место для катушки индуктивности. Когда в секцию устанавливается и транзистор, то в ней образуется автономный ВЧ каскад. Приемник на один диапазон, выполняемый как приставка к УНЧ, на основе доработанного блока КПЕ со встроенными в секции транзисторами (одна из секций отводится для гетеродина), содержит дополнительно только узел УПЧ и детектор. Поэтому он может быть достаточно компактным, а схема его упрощенной, так как она не включает устройств коммутации контуров или конденсаторов. Для его оформления блок КПЕ помещают вместе с УПЧ в кожух и укрепляют на КПЕ шкалу. Для увеличения числа диапазонов такого приемника все секции КПЕ снабжают общим переключателем, который изменяет число витков катушек индуктивности, встроенных в секции. Однако таким образом нельзя организовать перестройку в широком диапазоне частот, так как изменению индуктивности катушек должно соответствовать также изменение емкости секции КПЕ.

Работа по разделению пакета статора упрощается, когда статор каждой секции КПЕ имеет четыре изолятора. В статоре выполняют пропилы лобзиком и удаляют часть средних пластин. Ротор можно оставить без изменений. Иногда удаляют часть крайних пластин. При меньшем числе изоляторов выполняют дополнительные опоры из эпоксидной смолы. Фиксация пластин при работе может быть осуществлена с помощью металлических прокладок из фольги толщиной, близкой к размерам воздушного зазора. Их вводят между пластинами статора и ротора. Число пластин в новых пакетах может быть разным, что позволяет конструировать блок КПЕ специально для работы в различных диапазонах. Когда простейший переключатель приближен к секции (или встроен в нее) и коммутирует катушку путем замыкания части витков, число растянутых диапазонов равно двум. Если при этом контакты переключателя поочередно переключают две катушки и обе секции статора, а также соединяют их с разными катушками или даже параллельно с катушкой максимальной индуктивности, то на базе каждого доработанного КПЕ можно выполнить ВЧ тракт с четырьмя—шестью диапазонами. При этом обе катушки устанавливают в отдельных экранах непосредственно на боковой стенке КПЕ. Катушку меньшей индуктивности используют в контуре с секцией малой емкости, а катушку большой индуктивности — с секцией большой емкости или с соединенными параллельно секциями. Нетрудно видеть, что «всеволновый» приемник может быть выполнен на одном-двух таких ВЧ блоках. Для увеличения перекрытия желательно уменьшить минимальную емкость секции КПЕ. Такую возможность дает другой способ доработки КПЕ.

Стандартный КПЕ для ДВ и СВ диапазонов ($C_{макс}=495$ пФ, $C_{мин}=12$ пФ) имеет 16 подвижных и 15 неподвижных пластин. Осторожное удаление значительной части пластин так, чтобы в каждой секции осталось шесть подвижных и пять неподвижных пластин, позволяет увеличить зазор между пластинами в 3 раза и уменьшить начальную емкость секций до 6—5 пФ. Еще один способ доработки основан на придании статору секции КПЕ для «растянутого» диапа-

зона возможности перемещения. Самостоятельно выполняемые блоки КПЕ можно снабдить удлиненной осью, на которой устанавливают не только пакеты роторных секций, но и подшипники статорных пакетов. Последние снабжают поводками для относительно небольшого доворота, необходимого для подстройки и сопряжения, что позволяет исключить подстроечные элементы в контурах. Каждую секцию КПЕ можно выполнить из готовых малогабаритных двухсекционных КПЕ от современных транзисторных приемников. Доворот их корпусов заменяет доворот статоров. Для объединения отдельных КПЕ в общий блок соединяют оси КПЕ втулками, а корпусы снабжают поводками, за которые их поворачивают при подстройке. Доработанные КПЕ для двух каскадов будут иметь четыре секции (желательно с малыми $C_{\text{макс}}$).

Орган управления выполняют на базе механизма переключателя диапазонов с галетными секциями. Их удаляют (или для коммутации сигнальных лампочек оставляют одну), а к плоской оси присоединяют тяги-поводки статоров. В начальном положении КПЕ работает обычным образом, а при повороте оси переключателя ступенями (по 30°) статоры отклонятся вниз и $C_{\text{макс}}$ уменьшится. Для уменьшения начальной емкости можно доработать КПЕ иначе: ввести для статоров вспомогательную ось O_2, с помощью которой статоры будут отдаляться от роторов. Этот способ поясняется на рис. 12,*а* и *б*. Его недостаток — неравномерность начальных участков изменения емкостей, что учитывают при градуировке шкал.

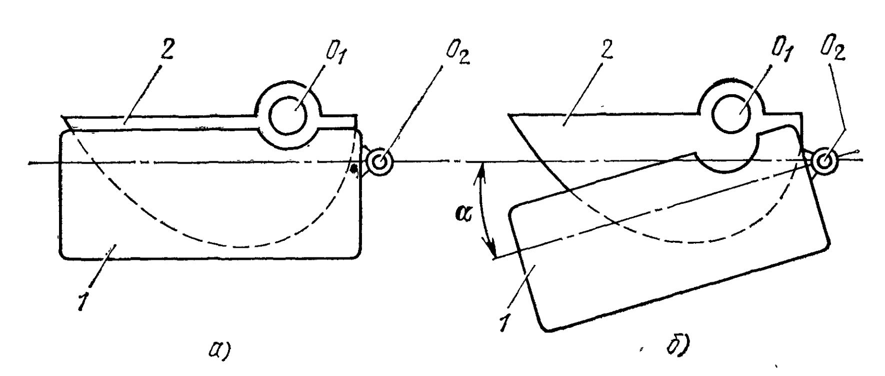


Рис. 12. Вариант выполнения КПЕ с поворачивающимся статорным пакетом:
а — нормальное положение; *б* — положение с уменьшенной начальной и конечной емкостью; *1* — статорные пластины (2—3 шт.); *2* — роторные пластины (1—2 шт.); O_1, O_2 — оси

Начальная емкость контура $C_{\text{нач}}$. Емкость $C_{\text{мин}}$ КПЕ с выведенным полностью ротором входит как составляющая в начальную емкость перестраиваемого контура совместно с паразитными емкостями монтажа $C_{\text{м}}$ и катушки $C_{\text{к}}$ входной емкостью активного элемента и $C_{\text{доп}}$ — емкостью полупеременного конденсатора для укладки диапазона. Значения вносимых емкостей $C_{\text{м}}$ и $C_{\text{к}}$ приведены в табл. 7. Оценим $C_{\text{нач}}$ контура СВ диапазона с конденсатором C (10—300 пФ) и полевым транзистором, у которого $C_{\text{вх}}=3$—5 пФ. Для этого контура $C_{\text{нач}}=C_{\text{мин}}+C_{\text{м}}+C_{\text{вх}}+C_{\text{к}}+C_{\text{доп}}=10+5+5+5+5=30$ пФ. Некоторые значения взяты наименьшими. Это означает, что монтаж СВ каскада необходимо вести тщательно (по правилам монтажа КВ устройств), использовать катушку с минимальной межвитковой емкостью, применять подстроечные конденсаторы малой емкости. Обычно в конструкциях для начинающих радиолюбите-

лей начальная емкость составляет 35—45 пФ. Значение перекрытия, важное для оценки степени перестройки по диапазону, составляет 335/35=9,6, а для большей начальной емкости 340/40=8,5. Оно значительно отличается от перекрытия собственно конденсатора, равного 300/10=30. Для увеличения перекрытия стремятся уменьшить все вносимые в контур емкости, подключают активный элемент к части контура, уменьшают емкости подстроечных конденсаторов.

Таблица 7

Ориентировочные значения емкостей для диапазонов

Диапазон	Емкость монтажа, пФ	Емкость между витками катушки, пФ
ДВ	5 — 20	15—20
СВ	5 — 15	5—15
КВ	8 — 10	4—8
УКВ	5 — 6	1—4

Некоторое снижение начальной емкости секций КПЕ можно провести описанной ранее доработкой КПЕ, а также удалив паяный узел каждого соединения статорного пакета КПЕ из фарфоровых стоек и изъяв колпачки стоек. При этом удается отдалить статор от ротора отдельной секции. Крепление осуществляется каплями эпоксидной смолы. Некоторого уменьшения начальной емкости контура удается достигнуть путем его автотрансформаторного включения. При таком включении активный элемент с малой входной емкостью присоединяется ко всем виткам катушки контура, а секция КПЕ, подстроечный и переходные конденсаторы подключаются к меньшей части витков, что позволяет ослабить и влияние емкости монтажа.

Проверка правильности выбора параметров контуров. Ее проводят определением индуктивностей L, входящих в произведения LC для крайних частот диапазона, по емкости C, образующей с катушкой L контур (табл. 8). Данные этой таблицы рассчитаны для СВ диапазона и КПЕ с $C_{макс}$=300 пФ. Учет проводится для различных $C_{нач}$, входящих в контур, а также для $C_{нач}$, увели-

Таблица 8

Индуктивность катушки, образующей контур с секцией КПЕ, с учетом начальной емкости

f, кГц	LC, мкГн·пФ	Емкость, входящая в контур, пФ									
		начальная					конечная				
		25	30	35	40	45	325	330	335	340	345
1600	9894	395	329	282	248	219					
520	93680						271	275	279	283	288

ченных на 300 пФ. Определяются значения индуктивности, удовлетворяющие произведениям LC для границ диапазона. Такая проверка основана на том обстоятельстве, что одна и та же индуктивность должна обеспечить резонанс в диапазоне частот (с разными и крайними значениями емкости КПЕ). Несложно усмотреть, что значение такой индуктивности близко к 280 мкГн. Оно определяется при заданных перекрытии и суммарной начальной емкости контура (35 пФ), что подтверждает предыдущие рассуждения. Проверочные таблицы можно легко составить и для других катушек, конденсаторов и частотных границ. Чем меньше емкость секций КПЕ, тем меньше и $C_{\text{нач}}$, т. е. тем выше требования к емкости катушки, качеству монтажа, входной емкости активного элемента и т. д. Окончательное уточнение $L_{\text{к}}$ производится подстроечным элементом (сердечником) при настройке приемника с помощью генератора.

Растянутая настройка осуществляется уменьшением перекрытия переменных конденсаторов (секций КПЕ), изменением их емкости, подключением подстроечных конденсаторов и т. п. Мы уже рассмотрели роль $C_{\text{доп}}$ при уменьшении перекрытия. Распространенная схема растягивания настройки приведена на рис. 13,*а*. В ней диапазон рабочих частот контура определяется емкостью последовательно соединенных конденсаторов *C2* и *C3* (с параллельно присоединенным к нему *C1*)

$$C_{\text{пос}} = \frac{C2\,(C3 + C1)}{C2 + C3 + C1}.$$

Когда емкость *C1* минимальна, резонансная частота контура наибольшая. При максимальной емкости *C1*, когда $(C3 + C_{1\,\text{макс}}) \gg C2$, настройка контура определяется преимущественно емкостью конденсатора *C2*.

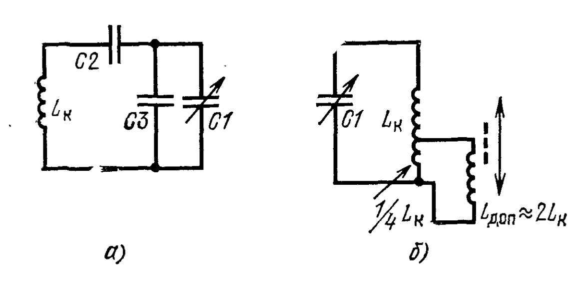


Рис. 13. Включение элементов контура при выполнении растянутой настройки:
а — схема включения последовательного и параллельного конденсаторов; *б* — схема с добавочной катушкой, перестраиваемой подвижным сердечником

Схемы «растягивания», действующие путем ввода в катушку подстроечного сердечника, несколько сложнее механически. К их недостатку относится также изменение *Q* контуров. Устранение последнего недостатка достигается в схеме рис. 13,*б*. В ней подстроечная катушка $L_{\text{доп}}$ присоединяется к 1/4—1/5 части витков основной катушки, а сама $L_{\text{доп}}$ наматывается более тонким проводом, нежели основная, и имеет увеличенное в 2 раза число витков. При этом по ней проходит только небольшая часть тока контура и вносимые ею потери невелики. Перемещение сердечника $L_{\text{доп}}$ плавно изменяет частоту основного контура. Рассмотренная схема может использоваться и как корректор, уточняющий настройку основного контура.

Контурные катушки для УПЧ и ФСС. Настраиваются на среднюю частоту 465 кГц. Но если в процессе настройки она «сдвинется» на 1—2 кГц, то контуры на первых порах можно не перестраивать. Для выбора индуктивности L по

емкости C следует на миллиметровой бумаге построить график, по вертикальной оси которого откладывают значения LC, по горизонтальной — частоту. Его строят по следующим точкам: для частоты 455 кГц произведение LC равно 123000, для 462 кГц — соответственно 119000, а для 469 кГц — 115000. Эти точки соединяют прямой линией.

Наиболее широкое распространение получили контуры на полистироловых секционированных каркасах с подстроечными сердечниками и контуры в миниатюрных ферритовых броневых сердечниках с внешним металлическим экраном (для транзисторных приемников). Контуры ФСС имеют существенное отличие от ВЧ контуров СВ и ДВ диапазонов: их добротность практически не лимитируется. Она может быть тем больше, чем сложнее фильтры и больше в них контуров.

Характеристика фильтра высокого качества формируется одновременной работой нескольких взаимно расстроенных контуров, поэтому потери в каждом из них следует уменьшать. На контурах малой добротности не удается выполнить фильтры с большим затуханием вне полосы пропускания (прозрачности). Вершину частотной характеристики фильтра можно сформировать и контурами невысокого качества, но тогда приемник можно использовать только для местного приема мощных станций. При приеме слабых сигналов важна селективность при предельной расстройке ±9—10 кГц. Кроме того, следует ослабить влияние мощных помех на частотах вне полосы пропускания фильтра, т. е. обеспечить прямоугольность основного фильтра на возможно более низких уровнях.

Катушки для контуров ФСС высокой добротности (Q до 150 и выше) выполняют на малогабаритных броневых ферритовых сердечниках и сердечниках типа СБ. Заметим, что использование сердечников с очень большими значениями начальной магнитной проницаемости μ (около 1500—2000) нецелесообразно, их параметры подвержены различным дестабилизирующим воздействиям, а именно: μ изменяется от температуры среды, внешних магнитных полей, постоянной составляющей тока в обмотке катушки. Иногда сердечники искусственно «старят» перед монтажом.

Несколько слов необходимо сказать о двухконтурных фильтрах УПЧ, состоящих из двух взаимно связанных общим полем контуров.

Так как в этих фильтрах оба связанных контура настроены в резонанс, второй контур имеет омическое сопротивление. Он вносит в первый контур на частоте резонанса также активное сопротивление, поэтому на средней частоте общей характеристики образуется впадина (см. рис. 9,*в*). По тем же причинам в трехконтурной системе простого ФСС при подключении двух, настроенных в резонанс контуров к первому, на общей частотной характеристике формируется пик на месте впадины и эта характеристика приобретает три «горба». Можно показать, что число пиков равно числу контуров, образующих данную систему. Заметим, что при выполнении простейших ФСС не следует значительно увеличивать связь между контурами. Желательно избегать появления глубоких провалов на суммарной характеристике, даже ценой некоторой потери усиления.

При связи менее критической характеристика фильтра получается одногорбой, что облегчает настройку УПЧ, позволяет исключить грубые ошибки, когда вместо настройки на центральную частоту система настраивается на $f_{рез1}$ или $f_{рез2}$ — различные и симметричные по отношению к резонансной частоте пики (см. рис. 9, *в*).

Эквивалентное сопротивление контура $R_э$. При резонансе оно носит активный характер и зависит от индуктивности, емкости и сопротивления обмотки катушки контура. Так как для заданной частоты произведение LC постоянно, то

$$R_э = \frac{\rho^2}{R_к} = \frac{L}{CR_к}$$

тем больше, чем больше L, меньше C и $R_к$. Выходное сопротивление источника, питающего контур, $R_э$, а также входное сопротивление следующей за контуром цепи должны быть согласованы.

Большое эквивалентное сопротивление имеют контуры высокой добротности, например, контуры магнитных антенн (до нескольких десятков и даже сотен килоомов). Такие же сопротивления имеют контуры УПЧ ламповых устройств. Для их работы необходим высокоомный источник, которым является пентод с высоким внутренним сопротивлением. Высокоомные контуры плохо сопрягаются с биполярными транзисторами — источниками с относительно малым внутренним сопротивлением (значительной внутренней проводимостью). Кроме того, при замене ламп емкость, вносимая лампой в контур с собственной емкостью 120—150 пФ, изменяется на доли пикофарад, поэтому резонансная характеристика УПЧ практически не изменяется.

В транзисторных УПЧ (емкость коллекторного перехода биполярного транзистора 120—140 пФ) изменение вносимой в контур емкости, например, при подаче напряжения АРУ, изменении режима значительнее, что может вызвать нестабильность работы. Биполярный транзистор управляется током, и ток в контуре легче обеспечить при малом $R_э$. Таким образом, переход к транзисторам вызвал появление контуров, подключаемых по схеме автотрансформатора для согласования нагрузок и увеличения токов управления. Низкоомные контуры легко поддаются миниатюризации. Числа витков в них невелики. Емкость конденсатора контура УПЧ составляет при этом 250—2000 пФ. Здесь меньшие значения приведены для контуров ФСС и трансформаторов, работающих с полевыми транзисторами, а большие — для каскадов усиления на биполярных транзисторах. Таким значениям емкостей $C_к$ соответствуют катушки с относительно малой индуктивностью $L_к$ ($C_к$=510 пФ; $L_к$=240 мкГн; $C_к$=1000 пФ; $L_к$=123 мкГн; $C_к$=1500 пФ; $L_к$=82 мкГн). Отметим, что действующие в ряде узлов приемника напряжения не должны просачиваться в другие узлы. О борьбе с просачиванием $U_{гет}$ во входные узлы мы уже говорили. Столь же нежелательно просачивание напряжений $U_{ВЧ}$ и $U_{гет}$ в УПЧ. Контуры с большими емкостями $C_к$ в ФСС широко используются в простейших супергетеродинах и для борьбы с помехами, проникающими на вход УПЧ. Так как для напряжения $U_{гет}$ ($f_{гет} > f_{ПЧ}$) емкостное сопротивление контура с большим $C_к$ мало, напряжения нежелательных высоких частот ослабляются самими контурами ФСС.

Основная зависимость для определения числа витков имеет вид $n = K\sqrt{L}$, где n — число витков, а K — коэффициент, зависящий от типа катушки. Здесь индуктивность L — в микрогенри; коэффициент K для сердечников броневого типа СБ 12 равен 5,8; для броневых ферритовых сердечников с диаметром 8,6 мм K=6,2; для катушек на двух и четырех секционных каркасах соответственно 5,8 и 5,6; для катушек, непосредственно намотанных на стержни из феррита с диаметром 7—8 мм и длиной 15—20 мм, K=5,1. Чем больше K, тем больше число витков в катушке. В какой-то мере этот коэффициент отражает средний диаметр витка. Чем дальше виток от сердечника, тем меньшее количе-

ство линий поля проходит по последнему: растет поток рассеяния и падает индуктивность. По этой причине при пересчете чисел витков катушек с сердечниками различного типа нужно учитывать новое значение K, а в том случае, когда K неизвестен, пользоваться данными о среднем диаметре витков, их количестве, типе сердечника (его μ), а также учитывать и другие данные близких по типам катушек.

При выборе сердечника меньшего диаметра, например при выполнении катушек на стержнях, следует помнить, что сохранение общей длины обмотки позволит сохранить индуктивность примерно одинаковой. Если вначале была известна индуктивность катушки и число ее витков, то катушку близкой индуктивности можно намотать на сердечнике с таким же μ, но меньшего диаметра, сохранив прежнюю длину обмоточного провода. При этом новая катушка будет иметь большее число витков, что компенсирует уменьшение магнитного потока в сердечнике.

Предварительная настройка контуров. Производится при их изготовлении. Одновременно уточняется индуктивность L. Для настройки следует собрать схему, показанную на рис. 14,*а*. В ней используется ГСС и универсальный при-

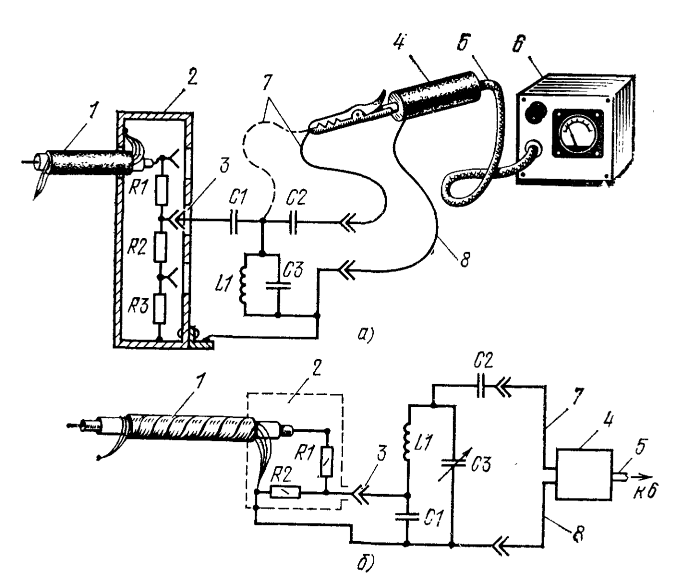


Рис 14 Соединение приборов при настройке контуров:
а — подключение контура к вынесенному делителю ГСС и универсальному прибору (УП) с ВЧ головкой; *б* — схема выполнения делителя напряжения на конце кабеля от ГСС и вариант подключения его к контуру;
1 — кабель; *2* — делитель; *3* — гнездо; *4* — головка; *5* — кабель к УП; *6* — УП; *7, 8* — короткие проводники

бор (УП). Испытываемый контур связывается с ГСС конденсатором $C_1 = C_{св}$ с емкостью до 2—3 пФ, при этом $C_1 \approx \frac{1}{100} C_{конт}$. Напряжение, развиваемое на контуре, измеряется с помощью УП (например, высокоомного вольтметра). Обычно к катушке L_1 подпаивают конденсатор известной емкости, достаточно точной для того, чтобы можно было в случае необходимости провести прове-

рочный расчет и воспользоваться при этом емкостью конденсатора. При настройке связанных контуров УПЧ прибор УП подключают к выходу второго контура. Вначале путем перестройки ГСС по частоте добиваются резонанса в контуре. Затем устанавливают ГСС на рабочую частоту контура, например 465 кГц, подбирают необходимую для получения резонанса емкость конденсатора, а затем положение сердечника катушки (или уточняют число ее витков). Для повышения идентичности катушек УПЧ их настраивают с одним и тем же конденсатором постоянной емкости, поочередно подпаивая его к разным катушкам в процессе их настройки. Так как положение сердечника катушки влияет на ее добротность, нельзя считать идентичными катушки, в которых сердечники занимают крайние положения. К тому же, в смонтированном УПЧ дальнейшая подстройка окажется невозможной. У катушек с полностью выведенным сердечником следует уменьшить число витков.

Катушки ФСС и связанных контуров УПЧ наматывают многожильным проводом. Лучшим является провод типа ЛЭ 5×0,6. Хорошие результаты обеспечивает двухжильный провод ПЭЛ 2×0,07 (или ПЭЛ 2×0,08), а также трехжильный ПЭЛ 2×0,06 или ПЭЛ 2×0,07. Применение одножильного провода, даже увеличенного диаметра (до 0,12 мм), не обеспечивает повышения добротности. В УПЧ повышенного усиления обязательно экранирование контуров ПЧ. Желательно, чтобы диаметр экрана в 2—2,5 раза превышал диаметр броневого сердечника (в малогабаритных конструкциях это требование часто нарушается); при этом уменьшение индуктивности несущественно. Катушки на небольших ферритовых стержнях также следует помещать в такие экраны. При отношении длины обмотки l катушки к ее диаметру d больше 2 и отношении диаметра экрана к диаметру катушки d больше 2,5 ее индуктивность в экране уменьшается не более чем на 10%, что часто позволяет исключить детальные расчеты.

Настройку связанных контуров обычно проводят после предварительной настройки каждого контура в отдельности. Контуры УПЧ настраивают в определенной последовательности. Первым настраивается контур, наиболее близкий к детектору. Его настраивают на частоту $f_{\text{ПЧ средн}}$ Затем поочередно настраивают контуры каскадов УПЧ. Сначала на эту же частоту, а затем на близкие к ней частоты (дается небольшая расстройка).

При использовании распространенных контуров УПЧ с добротностью 80—85 их настройки (например, в составе четырехконтурного ФСС) на $f_{\text{ср}}$ обеспечит получение полосы пропускания около 5,5—6 кГц, причем их взаимная расстройка не нужна. Для обеспечения полосы 8 кГц слабо связанные контуры ФСС попарно расстраивают на 0,5—0,7 кГц и соответственно на 0,8—1,2 кГц по обе стороны от $f_{\text{ср}}$ с тем, чтобы сформировать вершину частотной характеристики. Для этого в процессе предварительной настройки каждого контура необходимо с помощью ГСС и УП определить, как смещается резонансная частота одиночного контура при повороте его сердечника на один оборот. Вся настройка сведется тогда к настройке всех контуров на $f_{\text{ср}}$, довороту сердечников двух контуров на небольшой угол (часть оборота) по часовой и против часовой стрелки, а затем к такому же довороту сердечников другой пары на другой, бóльший угол (также часть одного оборота) с последующей проверкой ширины полосы.

Возникает вопрос. Зачем столько внимания уделять контурам, когда известны ФСС на пьезокристаллах — полосовые фильтры ПФ, например, ФСС типа

ПФ1П-2, ПФ1П-1 и др.? Действительно, в УПЧ с ФСС последнего типа нет необходимости в дополнительной настройке. Но это только в УПЧ на биполярных транзисторах. При конструировании более совершенных УПЧ на полевых транзисторах возникает необходимость согласовать их с ПФ, и это согласование (сопротивление ПФ невелико, а входное сопротивление полевых транзисторов достаточно большое) проводят с помощью тех же одиночных контуров с отводами. Высокую селективность обеспечивает сочетание контуров и ПФ. Кроме того, практическое изучение работы контуров и систем связанных контуров дает полезный опыт и навыки в работе с УПЧ, УВЧ и гетеродинами.

Для настройки группы контуров ФСС желательно иметь отдельный усилитель и УП. При отсутствии усилителя настройку можно вести с помощью каскадов усиления самого УПЧ. Когда ГСС не имеет вынесенного делителя, на конце выходного кабеля устанавливают два резистора с общим сопротивлением, равным волновому сопротивлению кабеля (рис. 14,*б*). Такое включение резисторов позволяет выполнить определенное деление выходного напряжения ГСС (например, на 10) и облегчает ввод напряжения в контур через конденсатор связи с увеличенной емкостью на рис. 14,*б* — $C1$, т. е. когда $C1 \gg C3$. Такой вариант подключения ГСС удобен при испытании контуров, присоединенных к цепи АРУ.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЦЕПЕЙ ПРИЕМНИКОВ И НАСТРОЙКИ ИХ УЗЛОВ

Различие цепей. Каждая из цепей приемника имеет свои особенности и требует использования различных измерительных приборов для настройки и проверки. Эти цепи условно можно разделить на четыре типа. Первый и второй типы — низкоомные (обычно, мощные) цепи источников питания и цепи питания электродов транзисторов. Последние цепи могут быть и высокоомными, например, при использовании полевых транзисторов. В таких цепях действуют различные постоянные напряжения и токи. Переменные напряжения НЧ действуют в каскадах УНЧ, входные цепи которых могут быть и высокоомными. Такие устройства относят к цепям третьего типа. К высокочастотным цепям преимущественно относятся цепи четвертого типа, содержащие резонансные контуры (УВЧ, УПЧ и т. д.). Низкоомными приборами с большим собственным потреблением тока можно пользоваться при измерениях в цепях первого типа; цепи четвертого типа можно настраивать только высокоомными приборами для высокочастотных измерений, иначе сами цепи будут шунтироваться измерительными приборами, а измерения окажутся недостоверными. Приборы для ВЧ измерений, настройки УПЧ, фильтров ПЧ должны иметь не только малое собственное потребление, но и малую входную емкость. Сложные современные приемники настроить без приборов невозможно.

Простейшие приборы. Современные приборы заводского изготовления, используемые для настройки сложной радиоаппаратуры, часто сложнее радиолюбительских приемников, описываемых в этой книге, и копирование их схем доступно лишь опытным радиолюбителям. Начинающие радиолюбители должны уделять самое серьезное внимание простым приборам и измерениям, стараться увеличивать количество используемых приборов, накапливать опыт их конструирования, идя от простого к сложному. Даже простейшие приборы в опытных руках могут обеспечить довольно точные измерения, особенно если отсчет

производится по точным шкалам, а сами приборы работают стабильно и не подвержены внешним влияниям.

На рис. 15 приведена схема транзисторного смесителя для градуировки шкалы гетеродина по более точному генератору. В качестве нелинейного элемента (смесителя) используется транзистор. На первый вход устройства необходимо подавать напряжения около 0,04—0,06 В. К этому входу присоединяют изготовленный гетеродин. На второй вход от ГСС подают напряжение около 0,1 В. В цепи коллектора присутствуют не только биения входных сигналов, но и сами сигналы, да еще и усиленные по уровню. Поэтому перед индикатором биений (телефоном) в схеме установлен фильтр низкой частоты. Телефон можно заменить резистором с сопротивлением 5,1—7,5 кОм, а выделяющееся на нем напряжение подвести к вспомогательному УНЧ. Биения между двумя близкими по частоте колебаниями, подводимыми к смесителю в процессе градуировки, будут слышны. В некоторые моменты в наушнике вместо высокочастотного «свиста» появится звук низкой частоты, который будет периодически пропадать. Это явление называется «нулевыми биениями». Оно отмечает практическое равенство частот на входах устройства. При появлении биений такого типа на шкалу гетеродина можно переносить значение частоты, обозначенное на шкале ГСС. Отклонение настройки одного из генераторов вправо или влево от точки биений вызывает появление тона НЧ, а затем и повышение частоты звука в наушнике. В приборе следует использовать транзистор с высоким значением $h_{21э}$, а сам прибор всегда подключать к источнику питания со стабильным напряжением.

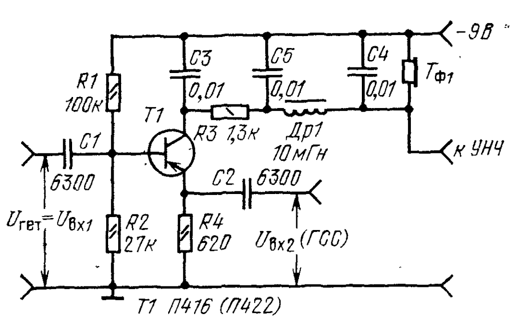


Рис. 15. Смеситель на биполярном транзисторе для градуировки генераторов и гетеродинов

На рис. 16 приведена схема простого генератора на стабилитроне. При работе на начальном участке лавинного пробоя стабилитрон *Д1* генерирует шу-

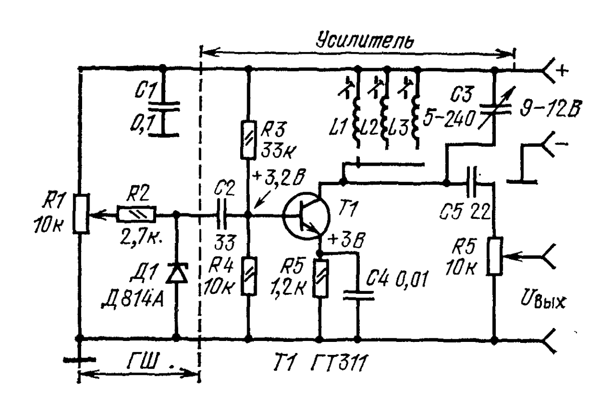


Рис. 16. Генератор шума на основе стабилитрона

моподобное напряжение, которое в первом приближении можно представить как сумму множества колебаний с различными частотами (от единиц килогерц до сотен мегагерц). Эти колебания имеют малый уровень, поэтому правая часть рассматриваемой схемы — УВЧ с резонансной нагрузкой. Каждый из сменных контуров, подключаемых к транзистору, возбуждается усиленными колебаниями. Чем выше добротность контура, тем лучше форма и больше амплитуда выходного напряжения генератора. Левая часть схемы представляет собой делитель напряжения для питания диода (генератора). Индуктивности сменных катушек зависят и от перекрытия КПЕ. Последний снабжают шкалой.

Все устройство монтируют на плате. На ней устанавливают КПЕ, переключатель, а также источник питания. Для градуировки шкалы по точкам левую часть схемы отсоединяют от усилителя, а на его вход через конденсатор *С2* от внешнего ГСС подают напряжение, возбуждающее контур — нагрузку усилителя. Резонанс отмечают ВЧ милливольтметром или универсальным прибором, описанным ниже. Выходное напряжение генератора описываемого типа составляет десятки милливольт.

Стрелочные измерительные приборы. При работе в качестве вольтметров входное сопротивление стрелочных приборов должно на порядок превышать сопротивление участка цепи, к которому их присоединяют. Сопротивления описываемых вольтметров оцениваются в килоомах на каждый вольт входного (измеряемого) напряжения. Входные сопротивления около 20—25 кОм обеспечиваются использованием микроамперметров с током полного отклонения ($I_{пр}$) 40—50 мкА. Рамки микроамперметров обладают сопротивлением 600—800 Ом.

Прибор для измерения тока $I_{изм}$, напряжения $U_{изм}$ и сопротивления R_x содержит микроамперметр, шунтирующие и дополнительные резисторы, переключатель или группу гнезд. Микроамперметр (рис. 17) замыканием гнезд *6* и *7* (или *8* и *9*) подключают параллельно резистору *R5* (или *R6*) и через гнезда *1* и *4* (желательно красного цвета) к цепи $I_{изм}$. Для каждого из пределов измерений через прибор должен проходить ток полного отклонения стрелки $I_{пр}$, а остальной ток, дополняющий $I_{пр}$ до $I_{изм.макс}$, должен протекать по одному из шунтирующих резисторов *R5* или *R6*. Сопротивление шунтирующего резистора:

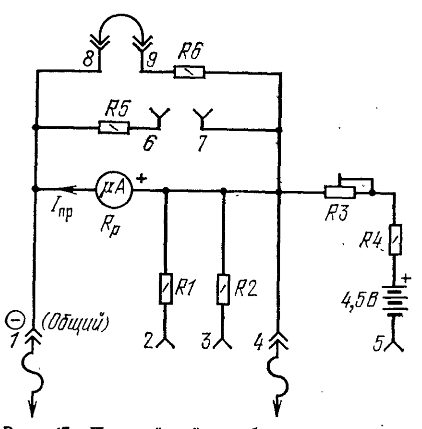


Рис. 17. Простейший прибор для измерений тока, напряжения и сопротивления

$$R_ш = \frac{I_{пр}\,R_р}{I_{изм.макс} - I_{пр}}$$

рассчитывается для каждого диапазона измерений $I_{изм.макс}$. Наиболее часто встречающиеся на практике диапазоны рабочих токов 1, 3—5 и 10—15 мА.

Так, например, при измерении тока $I_{изм.макс} = 3$ мА микроамперметром на 100 мкА с 500-омной рамкой, параллельно ей включают резистор с сопротивлением

$$R5 = R_{\text{ш}} = \frac{100 \cdot 10^{-6} \cdot 500}{3 \cdot 10^{-3} - 100 \cdot 10^{-6}} = 16{,}6 \text{ Ом}.$$

чем устанавливают отношение токов через шунт и микроамперметр, равное 30. Когда стрелочный прибор используют без шунта и включают через гнезда *1* и *4*, им измеряют малые токи вплоть до равных току полного отклонения стрелки, но в этом случае в измеряемую цепь вносится сопротивление рамки $R_{\text{р}}$, что может нарушить ее рабочий режим.

Для измерения напряжений тот же микроамперметр подключают к цепи $U_{\text{изм}}$ через гнезда *1* (общее), *2* или *3* последовательно с добавочным резистором *R1* (измерение 0—3 В) или *R2* (0—30 В). Для каждого предела измерений, например, напряжений $U_{\text{изм}}$, равных соответственно 0,3; 3; 30 В, эти сопротивления рассчитывают по формуле:

$$R1\,(R2) = R_{\text{д}} = \frac{U}{I_{\text{пр}}} - R_{\text{р}}.$$

При измерении напряжения U=5 В последовательно с микроамперметром соединяют резистор с сопротивлением $R_{\text{д}} = \frac{5}{100 \cdot 10^{-6}} - 500 = 49500$ Ом (49,5 кОм).

Для измерения сопротивления штеккеры щупов вставляют в гнезда *1* и *5*. Сопротивления резисторов *R3* и *R4* выбирают такими, чтобы при замыкании щупов ток через прибор достигал $I_{\text{пр}}$ при E=4,5 В. Снижение напряжения батарей до 4 В должно компенсироваться регулировкой сопротивления резистора *R3*, используемого для установки нуля.

Рассмотрим процесс градуировки такого прибора. Градуируемый и контрольный вольтметры соединяют параллельно и затем присоединяют к движку потенциометра, питаемого от батарей (1,5; 4,5 В). Напряжение, отсчитанное по точному прибору, переносят на шкалу градуируемого прибора или заносят в таблицу. Для удобства градуировки параллельно или последовательно дополнительным резисторам можно подсоединить подстроечные резисторы (потенциометры или реостаты), оси которых после градуировки закрашивают масляной краской. Достаточную для практики точность градуировки (6—8%) можно обеспечить, используя свежий сухой элемент (E=1,5 В) или батарею КБС (E=4,5 В) и постоянные резисторы с точностью 1—2% (или измеренные с точностью 3—5%). Резисторы для подстройки, присоединяемые параллельно основным, должны иметь сопротивление, в несколько раз большее (причем подстраиваемый резистор нужно вначале несколько увеличить), а присоединяемые последовательно — в несколько раз меньшее, причем подстраиваемый основной резистор нужно вначале уменьшить.

Присоединяя к источнику (1,5 В) делитель на резисторах с номиналами 740 и 10 Ом, мы обеспечиваем коэффициент деления 75; при этом с резистора сопротивлением 10 Ом к прибору подводится 20 мВ. Последовательно изменяя коэффициент деления (подбирая резисторы), наносят на шкалу другие градуировочные точки. Необходимо помнить, что делитель не должен значительно нагружать источник напряжения, а прибор — шунтировать делитель. При градуировке омметра также используют точные (1—2%) резисторы или резисторы, измеренные контрольным омметром с точностью 3—5%. При градуировке прибора как миллиамперметра его соединяют последовательно с контрольным прибором и подключают к источнику ступенчато изменяемого тока.

Измерение переменных напряжений. Производится приборами магнитоэлектрической системы, соединенными с выпрямителем. В качестве примера на рис. 18,*а* показана схема измерителя выходного напряжения НЧ, который подключается к выходу УНЧ приемника, например, при снятии кривой верности.

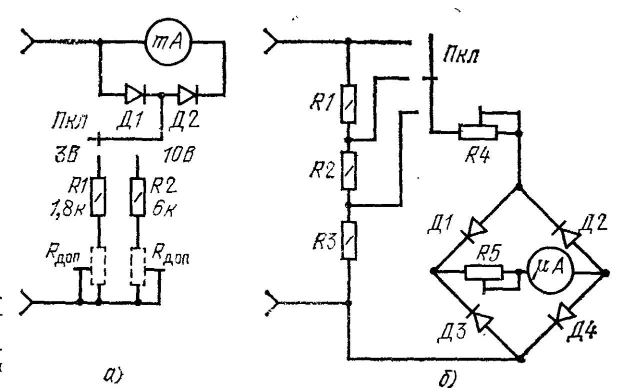


Рис. 18. Приборы для измерения переменных напряжений низкой частоты:
а — схема измерителя выхода; *б* — схема с диодным мостиком

В схеме используется прибор типа М-41 и два кремниевых диода. Последовательно с дополнительными резисторами *R1* и *R2* можно подключать подстроечные переменные резисторы (потенциометры). Устройство градуируется по звуковому генератору. Схема аналогичного прибора с диодным мостиком дана на рис. 18,*б*.

Измерение ВЧ напряжений. Производится с помощью детекторных диодных головок, соединенных экранированным кабелем с микроамперметром. Такие устройства работают в диапазоне напряжений от 0,1 В до нескольких десятков вольт, а совместно с предварительным УВЧ и делителем входного напряжения — от микровольт до сотен вольт. Достаточно высокое качество детектирования обеспечивают диоды типов Д18 и Д20. Желательно отобрать лучшие отношения сопротивлений при обратном и прямом направлениях токов. Точность работы тщательно выполненных головок в диапазоне НЧ обычно составляет $\pm 5\%$ при $R_{вх} \cong 20$ кОм. Схемы двух головок для настройки ВЧ узлов на частотах 100 кГц—30 МГц приведены на рис. 19,*а* и *б*. Схема рис. 19,*б* рассчитана на два предела измерений, для чего в ней предусмотрен делитель напряжения на резисторах и второе гнездо.

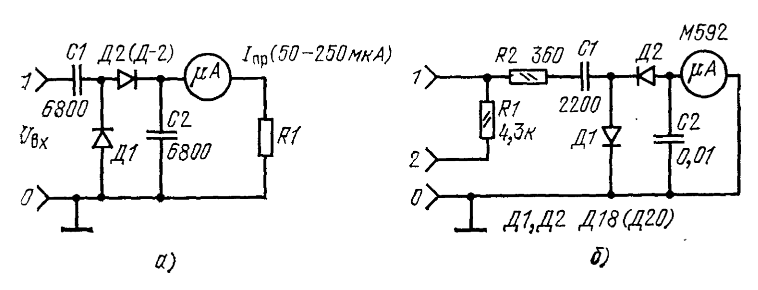


Рис. 19. Схемы детекторных головок:
а — для микроамперметров с током полного отклонения 50—250 мкА; *б* — для микроамперметра М595 (50 мкА) и ему аналогичных

Градуировка головок. Производится по ГСС с аттенюатором. Достаточную для практики точность можно обеспечить, используя и другие приборы. В таком случае для головки рис. 19,*а* нужно использовать график градуировки $I_{пр}=f(U_{ВЧ})$, приведенный на рис. 20 (для приборов с током максимального отклонения $I_{пр}$ 50—250 мА). График построен с учетом суммарного сопротивления рамки микроамперметра $R_р$ и резистора *R1* (*R1*=3 кОм). Чем выше *R1*, тем линейнее характеристика, но меньше чувствительность прибора. Наличие резистора *R1* позволяет заменять микроамперметр на близкий по типу и чувствительности. Схема без *R1* позволяет измерять несколько меньшие уровни ВЧ напряжения, но прибор при этом придется градуировать отдельно.

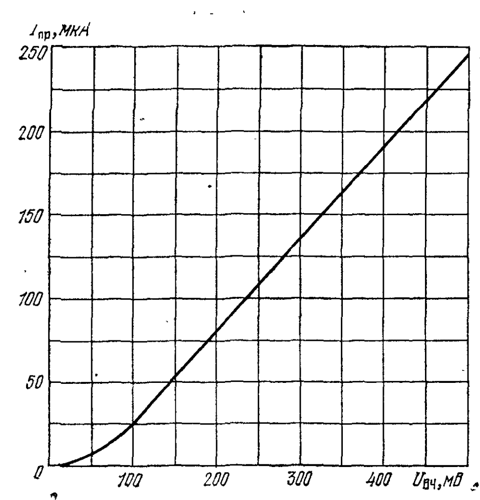


Рис. 20. **График градуировки диодной ВЧ головки**

Уменьшив емкость конденсатора *С1* до 500 пФ, головку можно использовать для испытания контуров совместно с ГСС, имеющим $U_{вых}\geqslant 1$ В. Чувствительность головки при этом значительно понизится, так как уменьшится коэффициент передачи напряжения. Головку по схеме рис. 19,*б* градуируют по данным табл. 9. Схема рассчитана на микроамперметр типа М592 (на 50 мкА) и аналогичные ему, может использоваться для настройки УВЧ и УПЧ, проверки гетеродинов. Более стабильны головки на кремниевых ВЧ диодах. Размещение деталей на миниатюрной плате ВЧ головки, укрепленной непосредственно на

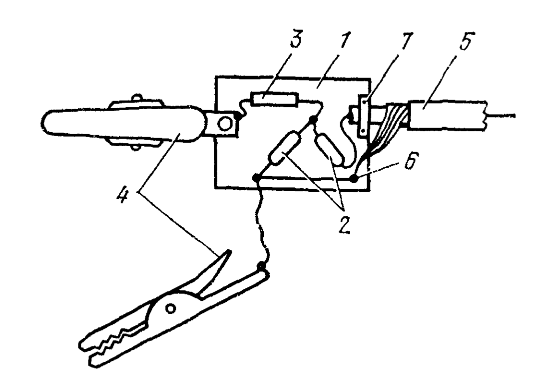


Рис. 21. Конструкция диодной головки (вид платы без экрана):
1 — плата; *2* — диоды; *3* — конденсатор или резистор; *4* — щупы; *5* — кабель; *6* — общая шина платы; *7* — крепление кабеля

конце кабеля (экран не показан), приведено на рис. 21. Конденсатор *С2* расположен на обратной стороне платы. Слой металлизации (или наклеенная фольга) соединяется с оплеткой кабеля.

Таблица 9

Данные для градуировки головки с микроамперметром на 50 мкА

Входное напряжение высокой частоты, мВ		Ток через прибор, мкА	Входное напряжение высокой частоты, мВ		Ток через прибор, мкА
гнездо *1*	гнездо *2*		гнездо *1*	гнездо *2*	
25	50	1	150	300	30
50	100	2	175	350	40
75	150	5	200	400	50
100	200	10			

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПРИБОР

Чувствительность и входное сопротивление детекторной головки могут быть несколько повышены в том случае, когда нагрузка цепи выпрямленного напряжения является высокоомной. Измерительная часть УП, присоединяемого к головке, представляет собой два истоковых повторителя, собранных по балансной схеме (рис. 22) и нагруженных на микроамперметр. Такая схема имеет пониженное выходное сопротивление и отличается высокой стабильностью, как и всякое устройство с активными элементами, охваченными глубокой ООС.

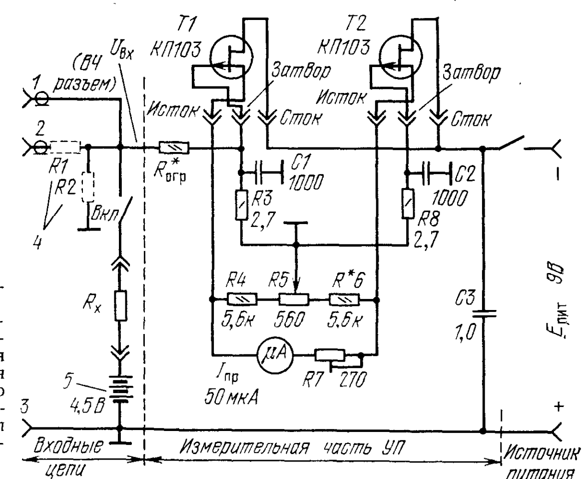


Рис. 22. Универсальный измерительный прибор:
1 — основной вход; *2* — вход высокоомного вольтметра постоянного напряжения; *3* — общая шина; *4* — резисторы делителя напряжения для высокоомного вольтметра; *5* — вспомогательный источник напряжения для измерения высокоомных резисторов

Измерительную часть УП монтируют в металлической, пластмассовой или фанерной коробке (рис. 23), оклеенной фольгой. Для размещения двух батарей КБС делают отсек, а для присоединения головки (см. рис. 21) — входной разъем для соединительного экранированного коаксиального кабеля. На корпусе устанавливают выключатель цепи питания и выполняют отверстия для регулировки подстроечных резисторов *R5* и *R7*. Все резисторы укрепляют на плате из текстолита, прикрепленной к выводам микроамперметра или к корпусу. Транзисторы монтируют на разъемах, что облегчает их замену и подбор при

настройке прибора, которая сводится к его балансировке и установке нуля. Полевые транзисторы, и особенно приборы с изолированными затворами, как уже отмечалось, часто выходят из строя из-за накопления статического электричества. Это обстоятельство нужно учитывать при монтаже. Подбор их производят на полностью смонтированном приборе в момент балансировки схемы.

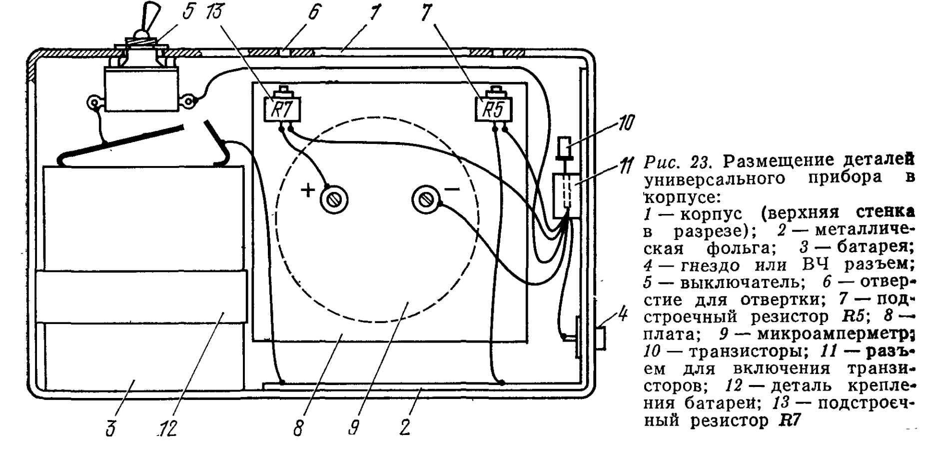


Рис. 23. Размещение деталей универсального прибора в корпусе:
1 — корпус (верхняя стенка в разрезе); *2* — металлическая фольга; *3* — батарея; *4* — гнездо или ВЧ разъем; *5* — выключатель; *6* — отверстие для отвертки; *7* — подстроечный резистор *R5*; *8* — плата; *9* — микроамперметр; *10* — транзисторы; *11* — разъем для включения транзисторов; *12* — деталь крепления батареи; *13* — подстроечный резистор *R7*

Если схема не балансируется, то заменяют один из транзисторов. Для измерения повышенных напряжений (их подводят через разъем *2*, показанный на рис. 22) в схему включают делитель на резисторах *R1* и *R2*, один из которых выполняют регулируемым (для градуировки шкалы). Делитель этот можно также выполнить на самой головке, снабдив ее переключателем. Изменяя вид входных делителей, можно значительно расширить область применения УП при налаживании приемников.

Высокоомный вольтметр постоянного тока. Выполняется на базе измерительного устройства, принципиальная схема которого приведена на рис. 22. Измеряемое напряжение $U_{изм}$ подводится через разъем *2*. В корпусе вблизи разъема устанавливается переключатель высокоомных резисторов входного делителя напряжения (два резистора показаны на рис. 22 штриховой линией, см. поз. 4). Входное сопротивление прибора близко к суммарному сопротивлению резисторов плеч делителя *R1* и *R2*, так как подключаемая параллельно резистору *R2* цепь входа активного элемента имеет весьма большое сопротивление. В цепь затвора первого транзистора иногда включают резистор $R_{огр}$ (0,5—1 МОм) для исключения возможности перегрузки. Примерные графики градуировки двух делителей для УП (прибор 50 мкА), при которых $R_{вх}$ примерно равно 6 или 12 МОм, изображены на рис. 24.

Устройство для измерения высокоомных резисторов. Выполняется также на базе УП. Напряжение дополнительного источника (поз. 5 на рис. 22; E=1,5 или 4,5 В) через измеряемый резистор подводится ко входу высокоомного вольтметра. При этом во входной цепи (она имеет также большое сопротивление) устанавливается режим микротоков. Шкала вольтметра может быть проградуирована как шкала мегомметра в единицах и десятках мегаом с помощью заранее подобранных резисторов известного сопротивления. Устройство может непосредственно встраиваться в корпус УП.

Частотомер. Измерительная часть УП представляет собой высокоомный прибор для измерения относительно небольших постоянных напряжений. При использовании в УП микроамперметра на 40—50 мкА полное отклонение стрелки достигается при входном напряжении около 0,5 В. Поэтому измерительная часть УП может применяться не только с диодной головкой, но и с рядом приставок, на выходе которых образуется постоянное напряжение в доли вольта. Первая из них — частотомер, который иногда называют волномером, представляет собой *LC* контур, объединенный с детектором. В контуре используется малогабаритный КПЕ ($C_{макс}$=240—260 пФ) и сменные катушки индуктивности. Их конструируют так же, как и сменные катушки для схемы рис. 16, зная отношение $C_{макс}/C_{мин}$ и количество необходимых диапазонов. Для сокращения числа сменных катушек в частотомере можно использовать сдвоенный малогабаритный КПЕ с миниатюрным выключателем, контакты которого могут соединять секции КПЕ параллельно. На шкале КПЕ выполняют две «дорожки» с цифрами.

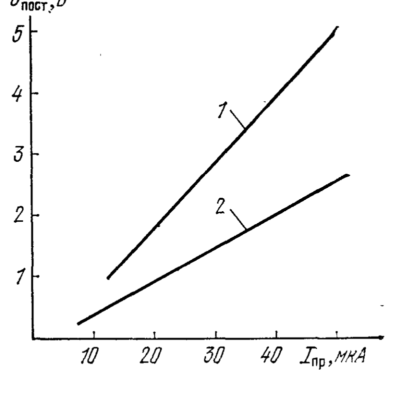


Рис. 24. Градуировочные графики высокоомного вольтметра:
1 — $R_{вх}$=12 МОм; *2* — $R_{вх}$=6 МОм

Катушки выполняют на малогабаритных каркасах и снабжают разъемами. В качестве последних удобно использовать цоколь 7-штырьковой пальчиковой радиолампы (дно баллона с выводами) и фарфоровые вкладыши соответствующих панелек, удаляя из каждой два-три лишних гнезда. Катушку устанавливают на вкладыше, подпаивают выводы, клеем фиксируют каркас. Поверх вкладыша и катушки одевают защитный пластмассовый колпачок с внешним диаметром 21,5 мм, используя в качестве последнего, например, упаковку от лекарств и затем фиксируют его на вкладыше тоже с помощью клея. В качестве корпуса частотомера удобно использовать металлический кожух от малогабаритного реле. В нем вырезают отверстие для дна баллона радиолампы. После удаления стеклянных стенок и электродов лампы дно с несколькими штырьками вклеивают в корпус эпоксидным клеем штырьками наружу. В корпусе размещают и КПЕ. Прибор связывают с измерительной частью УП гибким экранированным кабелем.

Устройство работает следующим образом. Контур размещают вблизи катушки гетеродина. Резонансное напряжение, возникающее на контуре после его подстройки на частоту гетеродина, выпрямляется диодами схемы удвоения (рис. 25,*а*); выпрямленное напряжение измеряется прибором УП. Градуировку частотомера проводят с помощью ГСС для разных катушек, а ее результаты записывают в таблицу $f=\varphi(\alpha)$, где α — угол поворота ротора КПЕ. Для связи катушки частотомера с выходной цепью ГСС выполняют дополнительную катушку; ее наматывают поверх защитного колпачка. Катушка связи обычно содержит три—пять витков. Рассмотрим противоречие, возникающее при реализации частотомера и его работе. Ослабление связи контура с измеряемой цепью, например, с гетеродином приемника весьма желательно (повышается точность

измерений), но при этом уменьшается напряжение, подводимое к УП. Увеличение емкости конденсатора связи контура частотомера с диодами повышает это напряжение, но приводит к шунтированию контура и уменьшению снимаемого с него напряжения. Для устранения указанных недостатков необходимо усилить напряжение, снимаемое с контура. Однако усилитель, особенно при выполнении его на биполярных транзисторах с малым входным сопротивлением и большой входной емкостью, не улучшит положения.

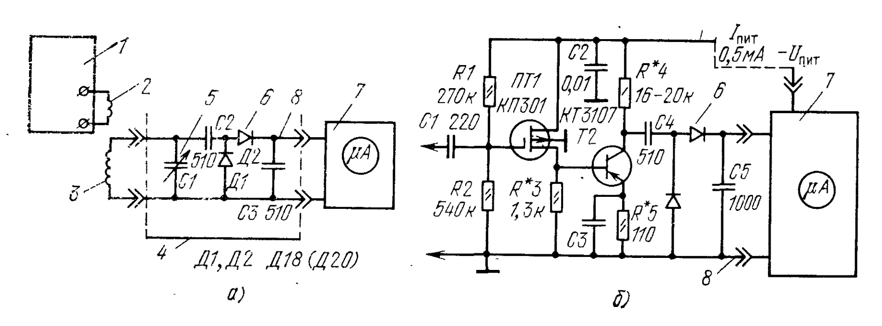


Рис. 25. Приставки к УП:
а — частотомер и схема связи приборов при его градуировке (*1* — ГСС; *2* — катушка связи; *3* — сменная катушка частотомера; *4* — схема частотомера; *5* — КПЕ; *6* — диоды схемы удвоения напряжения; *7* — измерительная часть УП; *8* — кабель, соединяющий приставку с измерительной частью); *б* — усилительная приставка для настройки УПЧ

Усилительная приставка. Схема усилительной приставки к УП (рис. 25,*б*) выполнена с полевым транзистором, имеющим малую входную емкость (3,5 пФ для КП301 и 5 пФ для КП305) и высокое входное сопротивление. Приставка содержит детекторную цепь и также соединяется с УП небольшим экранированным кабелем с двумя жилами (по одной из них подводится питание к транзисторам). Учитывая малую входную емкость полевого транзистора, его используют в режиме истокового повторителя, поэтому приставку можно использовать не только с частотомером, но и самостоятельно как милливольтметр, например, для налаживания УПЧ, настройки ФСС.

Приставку монтируют на миниатюрной плате, устанавливаемой в цилиндрическом корпусе небольших размеров, в одну из торцевых стенок которого вклеивают фарфоровую трубку — корпус от конденсатора КБГ. В эту трубку помещают конденсатор *C1*. На конце трубки устанавливают входной контакт или щуп. Так как коэффициент передачи повторителя близок к 0,5, основное усиление создает биполярный транзистор. Режим работы выбран весьма экономичным, так как питание подводится от источника УП. Поэтому усиление приставки невелико (10—15 раз). Если УП с детекторной головкой может измерять напряжения около 80 мВ — 0,1 В, то с усилителем это напряжение равно примерно 6—8 мВ. Преимущество — малая входная емкость и примерно равномерное усиление до частот 1 МГц. Повышение усиления можно провести подбором полевого и биполярного транзисторов, заменой резисторов *R3* и *R5* и увеличением сопротивления резистора *R4* (сопровождается сужением полосы). Повышение усиления возможно при замене резистора *R4* колебательным контуром с шунтирующим резистором (специально для работы в диапазоне ПЧ близких к 465 кГц). Важно, чтобы полоса приставки была шире полосы УПЧ, а усиление в ее пределах равномерным. Приставка превращается в резонансный

милливольтметр и при использовании в ней каскодного усилителя (см. рис. 8,*а*).

Приспособление для испытания кварцев. Монтируется на текстолитовой пластине с габаритными размерами, близкими к размеру батарей КБС, с которыми ее и скрепляют затем изоляционной лентой. На пластине устанавливают разъемы для крепления транзистора и подключения к универсальному прибору, а также зажимы для соединения с кварцем. Кварцедержатели бывают разных размеров, поэтому один из зажимов крепят к пластине жестко, а другой — через короткий гибкий проводник. Схема на биполярных транзисторах возбуждается за счет связи база—эмиттер через делитель на конденсаторах *С1* и *С2*, *которые образуют контур совместно с кварцем. При работе* с описанным выше УП на пластине монтируется и емкостный делитель напряжения (*С3*—*С4*) с тем, чтобы уменьшить на порядок выходное напряжение схемы (рис. 26,*а*). При испытании кварцев могут встретиться три случая: возбуждения нет; оно слабое (стрелка отклоняется на 1/3—1/4 шкалы прибора 50 мкА); возбуждение, достаточное для полного отклонения стрелки. Шкала прибора-микроамперметра может, таким образом, показывать качество кварцев. Их работу можно сравнивать между собой или с работой заведомо исправных резонаторов и отбирать лучшие.

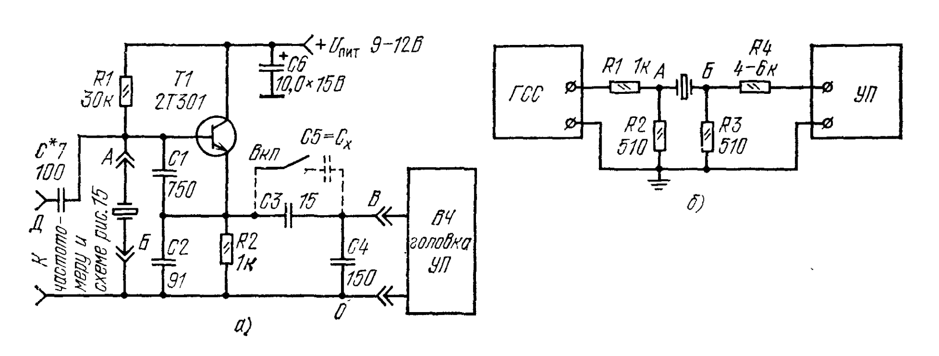


Рис. 26. Приспособления для испытания кварцев:
а — испытатель кварцев (*А*—*Б* — гнезда для подключения кварцев; *В*—*О* — гнезда для подключения УП; *Г*—*Д* — выходные гнезда); *б* — приспособление для определения собственных частот кварцевых пластин

Принцип действия прибора сводится к преобразованию энергии источника питания в высокочастотную (причем эффективность преобразования зависит от качества резонатора), а затем к обратному преобразованию для получения тока, отклоняющего стрелку измерительного прибора. Оценку частоты колебаний можно провести частотомером, присоединяемым к левой части схемы.

Для возбуждения кварцев более низкого качества (с бóльшими потерями) можно увеличить приток энергии — увеличить напряжение питания, использовать более мощный транзистор с той же граничной частотой, а для улучшения индикации — понизить коэффициент деления выходного напряжения. Обычно кварцы с рабочими частотами до 30—50 МГц возбуждаются при питающем схему напряжении, равном 8—9 В. Транзистор, показанный на рис. 26,*а*, можно заменить на транзистор типа КТ315 или любой другой высокочастотный транзистор (с учетом типа его проводимости).

Описанным приспособлением можно также сравнивать транзисторы. Для их смены необходимо предусмотреть гнезда или зажимы. Рабочую частоту и качество кварцевого резонатора (со стертой маркировкой) можно определить и иначе, при наличии ВЧ генератора или ГСС и ВЧ милливольтметра (УП). Кварц включают между двумя делителями на резисторах, как показано на рис. 26,*б*. Генератор стандартных сигналов перестраивают от более низких частот к более высоким. Когда кварц возбуждается на частоте последовательного резонанса (как контур высокого качества, проводящий ток), УП отмечает значительное напряжение. В режиме параллельного резонанса сопротивление кварца значительно выше и связь между точками *А* и *Б* ослабляется, что приводит к уменьшению показаний, указываемых стрелкой УП. Чем выше качество кварца, тем ярче выражены интервалы между показаниями УП на частотах упомянутых резонансов.

Измерение емкостей. Работа с описанными выше приспособлениями позволяет получить некоторый опыт работы с кварцами и потом использовать его при выполнении простых калибраторов частоты и конверторов с повышенной стабильностью работы. Кроме того, приспособление можно использовать и для других целей. Несложно понять, что если между эмиттером и зажимом *В* (рис. 26,*а*) вместо конденсатора *С3* или параллельно ему включить (как показано штриховой линией) некоторый конденсатор малой емкости *С5* (или C_x), то шкалу УП можно проградуировать в значениях емкости. Отмечают показания прибора для ряда конденсаторов с емкостями 3; 5; 8; 10 пФ и т. д., что позволяет затем измерить емкость C_x в этом диапазоне емкостей. Заменив конденсатором C_x другое плечо емкостного делителя напряжения (*С4*) или присоединив C_x параллельно ему, можно измерять емкость конденсаторов в десятки пикофарад, так как *С4* шунтирует входную цепь ВЧ головки УП.

Для повышения точности измерений необходимо стабилизировать напряжение источника с помощью стабилитрона, использовать всегда один и тот же кварц, а также производить монтаж схемы более тщательно, чтобы исходное ВЧ напряжение было по возможности более постоянным. С той же целью детали выполняемого прибора необходимо жестко закрепить на плате, а саму плату — в корпусе из металла. Необходимо тщательно выполнить все элементы для присоединения кварца и измеряемого конденсатора, исключить внешние влияния.

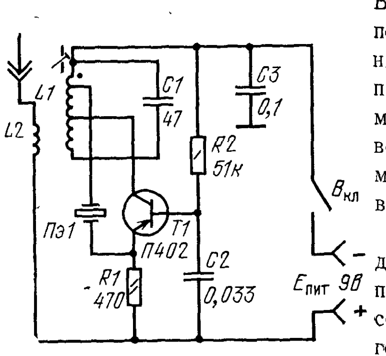


Рис. 27. Кварцевый калибратор

Кварцевый калибратор. При наличии двух-трех работоспособных кварцев можно выполнить простое, но весьма полезное приспособление — калибратор. Он не имеет сложного узла настройки со шкалой, но достаточно точен, так как использует гармоники кварца. Прибор, схема которого приведена на рис. 27, содержит кварцевый резонатор, транзистор, резисторы в цепи смещения и колебательный контур с выходной цепью. Контур выполняют на стандартном трехсекционном полистироловом каркасе (с подстроечным сердечником диаметром 3 мм).

Число витков катушки *L1* и катушки связи *L2* зависят от частоты кварца. При работе с резонаторами на частоту 3,5—3,6 МГц катушка *L1* содержит

45—50 витков, а катушка *L2* — 5 витков провода ПЭЛШО 0,2. Отводы выполняются от 2- и 22-го витков, считая от начала, обозначенного на схеме точкой, а секция с катушкой *L2* выполняется ближе к концу обмотки *L1* и присоединяется к общей шине. При работе с кварцами на частоты 1,8—1,9 МГц необходимо увеличить индуктивность катушки *L1* примерно вдвое (до 40—45 мкГн), как и емкость конденсатора *C1*, с тем, чтобы произведение L_1C_1 увеличилось в 4 раза. Для этого число витков *L1* увеличивают, при этом также изменяют количество витков на отводах и числю витков катушки *L2*.

Для градуировки созданного ГСС (гетеродина) или уточнения его шкалы калибратор связывается с устройством для сравнения частот конденсаторами небольшой емкости (см. рис. 15). При градуировке шкалы приемника к катушке *L2* подключают проволочный штырь длиной 25—30 см. Такой же «антенной» оснащается и приемник. Между антеннами устанавливается связь, причем калибратор играет роль микромощного передатчика. Если шкала уже предварительно грубо проградуирована, то принятые от калибратора напряжения гармоник кварца точных частот наносятся на шкалу как опорные точки. Для увеличения числа таких точек используют низкочастотные кварцы на 100—200 кГц, а также несколько кварцев с частотами, отличающимися на несколько сот килогерц. При использовании схемы рис. 15 плавно перестраивают ГСС, начиная от основной частоты кварца, и, получая «нулевые биения» с очередной гармоникой, запоминают ее номер, уточняют шкалу калибруемого ГСС.

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ГЕНЕРАТОР

Вполне удовлетворительные результаты в процессе настройки получаются при использовании сравнительно небольшого числа приборов. Совершенно необходимыми являются: вольтметр для установления режима активного элемента, ГСС или ВЧ генератор с делителем напряжения или аттенюатором (стабилизирует нагрузку ГСС), ВЧ милливольтметр (для измерений или только индикации). Последний можно заменить УП и головкой с активным элементом или усилителем. Схема собственно ВЧ генератора представляет собой обычный маломощный гетеродин. Он может быть выполнен в разных вариантах. Достаточно просто повторить известную схему рис. 28. Ее отличие от предыдущей состоит в том, что вместо кварца в цепи положительной обратной связи (ПОС) используется обычный конденсатор (*C5*). Модулятор — это НЧ генератор, в цепи ПОС которого установлен разделительный трансформатор (от слухового аппарата, малогабаритного приемника), имеющий меньшее число витков во вторичной обмотке. Частота НЧ напряжения устанавливается конденсаторами *C1* и *C3*, а режим работы транзистора *T2* (модулятора) — резистором *R4*.

Катушка контура *L1* самого ВЧ генератора (с индуктивностью около 100 мкГн) также наматывается на трехсекционном полистироловом малогабаритном каркасе с подстроечным сердечником диаметром 3 мм. Число витков для работы на частотах выше 2 МГц составляет 75—80 (при *C4*=75—50 пФ). Отводы выполняются от 6- и 26-го витков, число витков катушки *L2* — от 3 до 7. Она наматывается на части одной из секций каркаса или поверх катушки *L1*. Число витков катушки *L2* определяет не только выходное напряжение, но и сопротивление аттенюатора (или делителя напряжения).

Как уже отмечалось, точная калибровка выходного напряжения необходима при настройке приемника. Если деление напряжения производить грубо, с помощью только отводов, выполненных у второй катушки, построение ВЧ генератора упрощается. Деление может производиться не только с помощью отводов, но и выносным делителем, подключенным к экранированным гнездам.

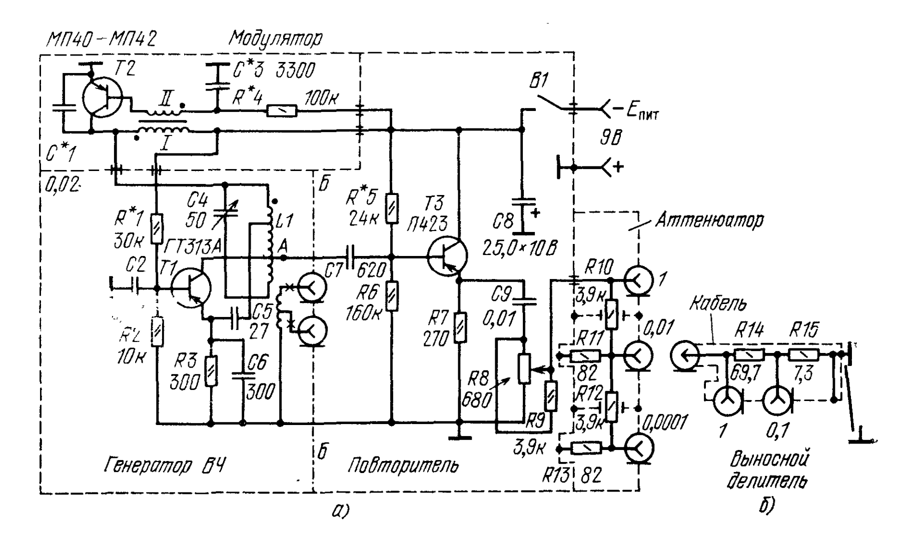


Рис. 28. Высокочастотный генератор для настройки приемников:
а — принципиальная схема; *б* — схема выносного делителя ВЧ напряжения

Числа витков для отводов рассчитывают по $R_э$ контура *L1C4* и волновому сопротивлению кабеля, подключаемого к делителю (обычно 75 Ом). Когда число витков *L2* мало, то в качестве дополнительных элементов согласования можно использовать резисторы между отводами и соответствующими гнездами (место подключения показано знаком ×).

Упрощение схемы генератора нежелательно: ухудшается его работа. Различные нагрузки вносят в основной контур реактивные сопротивления, поэтому частота (а во многих случаях и амплитуда) генерируемых колебаний может зависеть от внешних цепей, подключаемых к выносному делителю напряжения или выходным зажимам генератора. Эти же соображения должны учитываться и при конструировании гетеродина приемника, если нагрузка последнего изменяется в процессе работы приемника.

Более совершенна схема ВЧ генератора с повторителем сигнала. Повторитель делает работу генератора практически независимой от нагрузки. Выходное сопротивление повторителя значительно меньше $R_э$ контура, а выходное сопротивление аттенюатора практически постоянно. Его выбирают равным волновому сопротивлению кабеля, на которое рассчитан и выносной делитель.

Аттенюатор, дополняемый выносным делителем, может иметь меньшее число секций (две-три по 20—40 дБ каждая). Секции тщательно экранируются, в них встраивают перегородки с отверстиями, сквозь которые проходят резисторы связи звеньев (обычно МЛТ 0,25 — МЛТ 0,5). Сопротивления резисторов подбирают возможно более точно омметром и, в случае необходимости, подгоняют от меньших значений к бóльшим.

При измерении чувствительности приемника, а также при проведении других измерений его ВЧ тракта в целом ввод антенны соединяют с делителем или аттенюатором генератора через эквивалент антенны. Примерная схема эквивалента приведена на рис. 29. При проведении измерений оценку усиления или затухания сигнала в том или ином блоке проводят и в «разах», и в децибелах. Последняя оценка предпочтительнее. Связь значений усилений в разах и в соответствующих им децибелах приведена в табл. 10. Подобную таблицу можно составить и для затуханий сигнала, при этом перед децибелами ставят знак минус. Представим себе, что $U_{вых}$ некоторого двухкаскадного усилителя в 14,1 раза больше $U_{вх}$. Усиление 14,1 можно представить как произведение 1,41 на 10. Предположим также, что в первом каскаде усилителя достигнуто усиление 10, а во втором 1,41. Усиления, выраженные в разах, умножаются одно на другое. Значения усиления в децибелах складываются. Усиление первого каскада (10) соответствует 20 дБ, а второго (1,41) — 3 дБ. Следовательно, усиление всего двухкаскадного усилителя равно 23 дБ. Использование децибел упрощает расчеты усиления; в децибелах записаны и все требования ГОСТа, предъявляемые к приемникам.

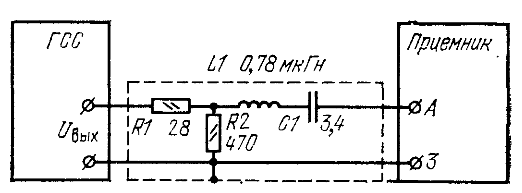


Рис. 29. Эквивалент антенны

Количество описанных выше схем и приспособлений несколько превышает число необходимых приборов, обычно используемых радиолюбителями для настройки. Однако некоторые из описанных устройств можно использовать совместно для упрощения настройки или градуировки приемника, «переноса» частоты некоторого точного ГСС и т. д. Поэтому полезно выполнить макеты большинства приборов, так как в процессе их монтажа и налаживания познаются тонкости работы отдельных устройств, особенно на новых элементах. Например, генератор шума можно использовать для измерений чувствительности приемников, калибратор позволяет уточнить их градуировку, опыт выполнения приставок к УП облегчает конструирование ВЧ милливольтметра.

Таблица 10

Отношения двух напряжений при усилении, выраженном в разах (*K*) и децибелах

K	1	1,12	1,26	1,41	1,58	1,78	2,00	2,24
дБ	0	1	2	3	4	5	6	7
K	2,51	2,82	3,16	5,62	10	14,1	100	1000
дБ	8	9	10	15	20	23	40	60

Хорошо работающий макет не следует подвергать перемонтажу. Его плату укрепляют эпоксидным клеем, второй пластиной из изолятора, помещают в кожух или корпус. В нем же предусматривают место для батарей питания, так

как макеты с питанием от батарей выполнить проще. Если необходимо сделать прибор для постоянного пользования, кожух или корпус макета укрепляют (усиливают), прибор снабжают более точной шкалой (с механизмом замедления), для подключения соединительных проводников и внешних индикаторов выполняют гнезда. В приборе предусматривают выпрямитель для питания его от сети. Для экономии времени не следует без необходимости перематывать катушки. В случае изменения рабочей частоты или ее коррекции в ряде случаев проще заменить сердечник катушки на сердечник с меньшей или большей магнитной проницаемостью, если это не связано с жесткими требованиями к добротности.

Глава третья

КОНСТРУИРОВАНИЕ СУПЕРГЕТЕРОДИНА

ВХОДНЫЕ ЦЕПИ И УВЧ

Входные цепи. Кроме решения основной задачи — первичной селекции сигналов, входные цепи согласуют источник сигнала (антенну) с первым активным элементом приемника. В простых супергетеродинах (см. рис. 3) первым активным элементом является транзистор, работающий в режиме преобразования частоты. В более совершенных приемниках первым каскадом является УВЧ. Отсюда входная цепь — резонансная система с добротностью, определяемой из условий получения необходимой полосы пропускания, служит трансформатором сопротивлений. Так как входное сопротивление биполярного транзистора мало, то его база присоединяется к контуру входной цепи через катушку связи с малым числом витков.

При использовании полевого транзистора в качестве первого активного элемента, согласование его с входной цепью может быть упрощено. Можно непосредственно соединять затвор полевого транзистора с входным контуром, поскольку входное сопротивление его значительно выше, нежели у биполярного транзистора. Такое включение увеличивает напряжение сигнала, а так как полевой транзистор имеет и меньший уровень собственных шумов, то существенно растет и отношение сигнал-шум на входе приемника. Примерно такие же соображения должны учитываться при использовании во входной цепи магнитной (ферритовой) антенны — контура высокой добротности на основе ферритового стержня при приеме в СВ и ДВ диапазонах. Ее эффективность (действующая высота) достаточно мала; такая антенна по эффективности близка к горизонтальному проводу длиной 0,2—0,4 м, но наличие резонанса в контуре антенны и непосредственное ее подключение к активному элементу полевого типа совместно с использованием направленного действия позволяют в ряде случаев существенно повысить уровень сигнала и отстроиться от помех.

Рассмотрим теперь виды связи антенны с входной цепью. Непосредственная связь входной цепи с антенной (рис. 30,*а*) редко используется в диапазонах СВ и ДВ. Обычно применяют индуктивную связь. Для этого в непосредственной близости от контурной катушки входной цепи размещают антенную. Число ее витков увеличивают, так как емкость, вносимая антенной, обычно меньше емкости конденсатора контура. При выполнении индуктивной связи следует предусмотреть простую замену антенной катушки L_1 (рис. 30,*б*) для упрощения

подбора числа ее витков. В диапазоне СВ для подсоединения конденсатора связи с антенной можно выполнить катушку связи с несколькими отводами. Правильность согласования антенны с входной цепью проверяют экспериментально, определяя $K_{вх}$. Этот коэффициент $K_{вх}=U_1/E_а$ отражает передачу входной цепи и показывает, насколько напряжение U_1 на входе первого каскада приемника больше ЭДС, создаваемой антенной. В нашем случае — напряжения ГСС, подведенного через эквивалент антенны к входной цепи.

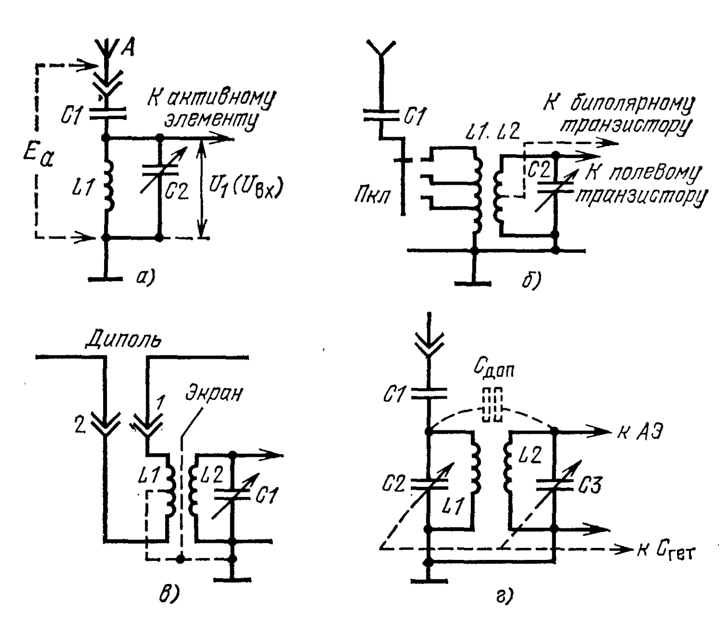


Рис. 30. Входные цепи приемника:
а — простейшая; *б* — одноконтурная с антенной катушкой связи; *в* — входная цепь КВ приемника с дипольной антенной; *г* — двухконтурная входная цепь с блоком КПЕ

В КВ диапазонах антенну непосредственно связывают со входным контуром конденсатором небольшой емкости. Его сопротивление падает с ростом частоты и входная цепь при такой связи заметно компенсирует уменьшение усиления транзисторов с ростом частоты. Для антенн небольшой длины и антенн в виде штырей также рекомендуется емкостная связь с приемниками. Для повышения помехозащищенности КВ приема в условиях сильных помех часто используют дипольные антенны. Их связывают с входными цепями (как показано на рис. 30,*в*) через катушку связи *L1*. Лучи вибратора подключают в гнезда *1* и *2*. Катушку *L1* рассчитывают для использования с полуволновым вибратором (сопротивление 75 Ом) или с петлевым вибратором (300 Ом), зная число витков катушки *L2* и определив ее эквивалентное сопротивление при резонансе. Сравнивая сопротивления контура *L2C1* и сопротивление антенны, можно избежать грубых ошибок при определении коэффициента трансформации (числа витков катушки *L1*).

При использовании обычной антенны или антенны в виде штыря для их присоединения пользуются гнездом *1*, а гнездо *2* соединяют с общей шиной. Катушка *L1* при наличии экрана связана с катушкой *L2* только общим полем.

Небольшое напряжение ($E_а$), развиваемое в катушке *L1* антенной, возбуждает контур *L2C1*, поэтому при его резонансе на вход транзистора (особенно полевого, подключаемого к контуру полностью) поступает напряжение $U_с$, значительно превышающее $E_а$ ($K_{вх}>1$). Представим себе, что катушки *L1* и *L2* идентичны и образуют систему связанных контуров, а катушка *L1* перестраивается конденсатором *C2* с емкостью, близкой к емкости конденсатора *C3* (эти конденсаторы представляют собой две секции из трех общего КПЕ).

Двухконтурная входная цепь (рис. 30,*г* и рис. 4,*б*) обеспечивает более высокую селективность, так как прямоугольность частотной характеристики такого фильтра значительно выше, чем одиночного; однако потери сигнала в связанной системе больше, а ее настройка сложнее. При использовании связанной системы должна быть уменьшена и связь с антенной, так как при подключении различных антенн (по длине, высоте подвеса и т. д.) в первый из связанных контуров (антенный) будут вноситься различные емкости и вся система будет расстраиваться, как показано на рис. 31,*б* и *в*. Для компенсации потерь сигна-

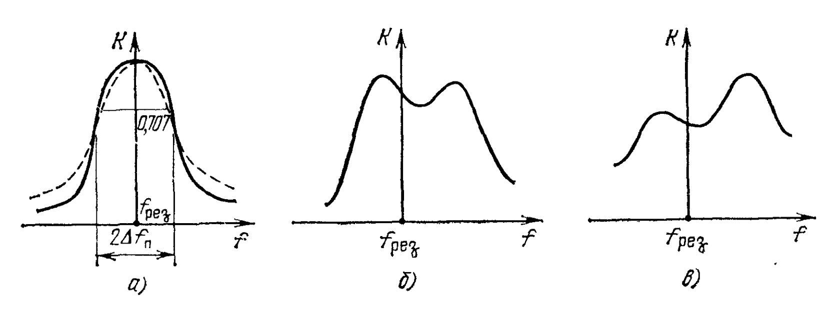


Рис. 31. Характеристики связанных контуров:
а — суммарная резонансная характеристика двух идентичных контуров при связи меньше критической (штриховой линией показана характеристика одиночного контура); *б* — характеристика взаимосвязанных контуров при неверной настройке (второй контур настроен на частоту, превышающую частоту настройки первого); *в* — то же, но для случая, когда второй контур настроен на более низкую, нежели первый, частоту

ла между связанными контурами можно ввести активный элемент. Схема подобного устройства была приведена ранее в упрощенном виде на рис. 4,*а* и определялась как УВЧ. Это не совсем верно, поскольку при использовании повторителя сигнала усиление отсутствует. Сигнал возрастает в момент резонанса во входной цепи — контуре *L1C2*. Повторитель на транзисторе *T1* имеет коэффициент передачи несколько меньше 1 (около 0,5 для простых повторителей и 0,9 для усложненных, на двух транзисторах), но нагрузкой его является второй контур, включенный как повышающий автотрансформатор. При резонансе во втором контуре (на входе смесителя) напряжение вновь повышается.

Принципиальная схема такого входного устройства приведена на рис. 32, *а*. В ней применен малошумящий транзистор типа КП 303 (желательно с индексами Е и Д). Устройство обеспечивает увеличение сигнала на входе преобразователя на транзисторе *T2* (показан условно) в 3—5 раз. На рис. 32,*б* показано включение второго полевого транзистора с изолированным затвором в другом варианте. Вариант схемы рис. 32,*б* может использоваться и при подведении к полевому транзистору напряжения АРУ. Меньшая склонность устройства к самовозбуждению обусловлена тем, что первый транзистор работает как повторитель. Настройка схемы сводится к выбору оптимального числа витков для

выполнения отводов у катушек *L1* и *L2*, установлению режимов полевых транзисторов с помощью резистора *R1*. Сопротивление этого резистора зависит от тока через транзистор, т. е. определяется его типом (или индексом в пределах одного типа). При перестройке входной цепи в диапазоне рабочих частот нежелательная добавочная взаимная расстройка контуров будет тем меньше, чем лучше согласованы секции КПЕ (согласование ведут отгибанием лепестков крайних пластин роторов) и меньше потери, вносимые шунтирующими цепями различного назначения (транзисторами, цепью антенны).

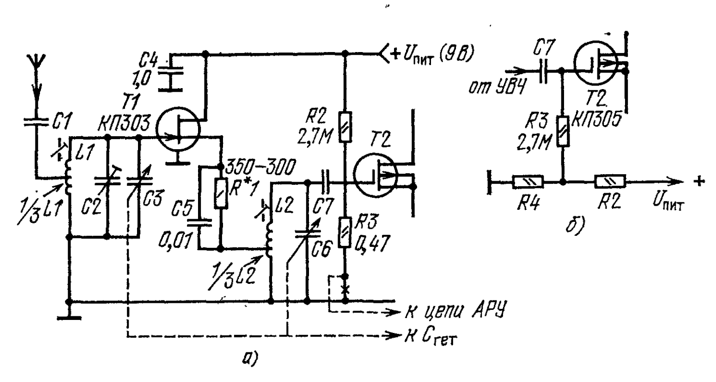


Рис. 32. Входная цепь с активным элементом:
а — принципиальная схема входных цепей на полевых транзисторах; б — вариант включения затвора полевого транзистора для уменьшения шунтирования контура

Бо́льшая стабильность работы обеспечивается при ослабленной связи контуров с антенной и полевым транзистором, т. е. при уменьшении емкостей конденсаторов *C1* и *C7*, что ухудшает передачу полезного сигнала. Схему рис. 32,*а* можно использовать в приемниках с улучшенными параметрами. Поскольку число контуров между гетеродином и антенной увеличено, а конденсаторы связи имеют меньшую емкость, в цепь антенны проходит небольшая часть напряжения $U_{гет}$. Основное достоинство подобных схем заключается в повышенном подавлении зеркальных помех. Как уже отмечалось, степень усиления не является решающей. На схеме рис. 32 не показаны переключатели катушек индуктивности. Заметим также, что контуры в ВЧ каскадах могут быть выполнены специально для обеспечения широкого диапазона перестройки и использоваться в нескольких поддиапазонах.

Усилитель высокой частоты. От описанной выше схемы преселектора с активным элементом легко перейти к каскодной схеме УВЧ. Она также используется в достаточно совершенных супергетеродинах повышенной чувствительности, но может выполняться только после приобретения определенного опыта. Схема УВЧ, изображенная на рис. 33, выполнена на двух малошумящих полевых транзисторах КП303 (Д и Е) или на полевом транзисторе с двумя затворами (КП350, КП306). Однако последний имеет несколько бо́льший уровень шума. Схема обеспечивает максимальное усиление около 30 дБ на рабочей частоте 30 МГц и около 40 дБ на частотах ниже 5 МГц. Это означает, что в ДВ и СВ диапазонах ее можно использовать как приставку к УНЧ для местного приема, включив катушку L_4 в цепь детектора.

Входную часть схемы мы уже рассматривали. Напряжение ВЧ подводится через резистор небольшого сопротивления в цепь затвора *T2*, работающего как

часть составного усилительного каскада. Схему соединения контура можно видоизменить. Так, например, контур подключают к первому затвору транзистора типа КП350 (или КП306), второй затвор соединяют с делителем напряжения, составленным из резисторов (в схеме рис. 33 этот делитель показан для *T1*). Стоковая цепь *T1* (через небольшой «антипаразитный» резистор *R3*, как и резистор

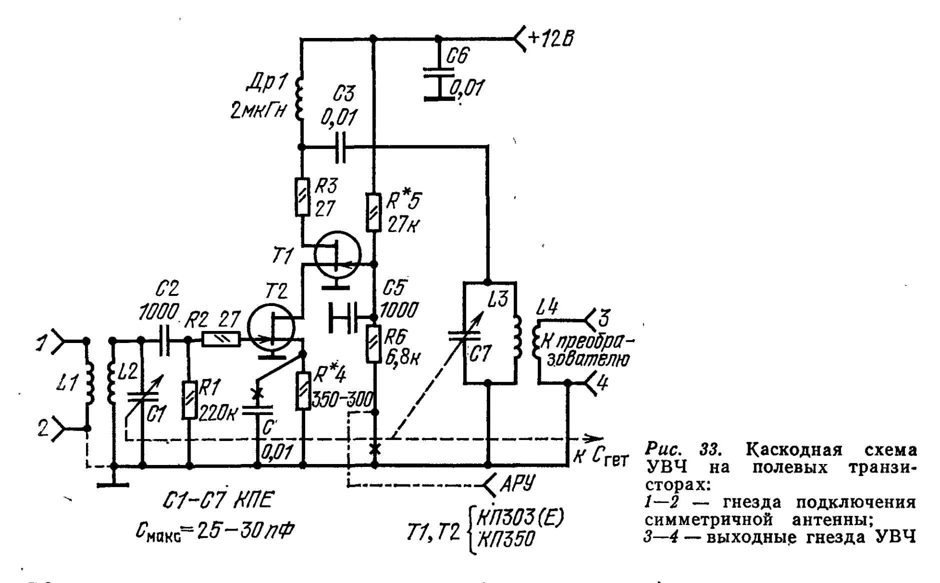


Рис. 33. Каскодная схема УВЧ на полевых транзисторах:
1—2 — гнезда подключения симметричной антенны;
3—4 — выходные гнезда УВЧ

R2, уменьшающий возможность самовозбуждения схемы) с помощью развязывающего дросселя *Др1* подключена к нагрузке — контуру *L3C7*. Режим работы обоих полевых транзисторов задается резисторами $R4(R_И)$ и *R5*, которыми устанавливается ток в цепи *T1, T2* около 1—3 мА. Ток $I_С$ и смещение *E* грубо определяются по характеристикам полевых транзисторов. Они связаны выражением $E=I_СR_И$, характерным для любой цепочки автоматического смещения. Для УВЧ на транзисторах типа КП303 $R_И \approx 300—350$ Ом. Резистор $R_И$ подбирают (обозначен звездочкой), так как ток $I_С$ может несколько изменяться для полевых транзисторов с разными индексами. **Выходное напряжение на дросселе *Др1*** через конденсатор связи *C3* может быть подведено не к контуру *L3C5*, а непосредственно к затвору транзистора преобразователя (см. рис. 32,*б*). В таком случае УВЧ будет апериодическим. Хотя апериодические УВЧ имеют меньшее усиление, они не требуют строенного КПЕ и более устойчивы в работе, так как не имеют резонансной системы в нагрузке. Однако они не обеспечивают нужного подавления зеркальной помехи и не улучшают отношение сигнал-шум в нужной степени.

Контур нагрузки в схеме рис. 33 через катушку связи присоединяется к преобразователю. При наличии 4-секционного КПЕ входную цепь выполняют двухконтурной на основе доработанной L_1. Для подачи напряжения АРУ используется цепь делителя напряжения затвора *T1*. Знаком x показано отключение вывода резистора *R6* от общей шины. Этот вывод присоединяется к цепи АРУ.

Усилители высокой частоты на транзисторах обычно осваиваются радиолюбителями уже при конструировании простейших конструкций приемников на

биполярных транзисторах со столь низкой чувствительностью, что причины, влияющие на конструирование, себя не проявляют. В более чувствительных устройствах их необходимо учитывать. Большие значения внутренних проводимостей заставляют усложнять УВЧ, вводить два полевых транзистора, непосредственно связанных один с другим или включенных по каскодной схеме. При этом УВЧ обеспечивает чрезмерно большое усиление и его приходится искусственно снижать. Самый простой способ понижения усиления ВЧ каскада — устранение конденсатора из цепочки автоматического смещения, например, *C* (на рис. 33 показано знаком x). На резисторе автоматического смещения *R4* начинает выделяться напряжение ООС, снижающее усиление и повышающее стабильность работы каскада.

Другим недостатком УВЧ на биполярных транзисторах, проявляющимся в чувствительных супергетеродинах, являются повышенные собственные шумы. Для увеличения отношения сигнал-шум следует использовать УВЧ только резонансного типа, в которых необходимо устанавливать контуры повышенной добротности [8]. Это, как уже указывалось, требует проверки полосы пропускания и вызывает новые трудности. Таким образом, апериодические УВЧ на биполярных транзисторах нецелесообразны,. а резонансные сложны при конструировании, требуют применения малошумящих транзисторов, не обеспечивают борьбы с перекрестными помехами. При уровне амплитудно-модулированной помехи выше 5—8 мВ она прослушивается на фоне принимаемой станции достаточно интенсивно, что обусловлено существенной нелинейностью входной и проходной характеристик биполярных транзисторов. Эта нелинейность способствует росту и комбинационных помех: мешающие сигналы, складываясь, вычитаясь и перемножаясь между собой и своими отдельными гармониками, а также с напряжением полезного сигнала, создают в коллекторной цепи результирующие напряжения с частотами, близкими к промежуточной.

Схему УВЧ можно выполнить на составном активном элементе, который представляет собой сочетание полевого и биполярного транзисторов. Для этого в выполняемых на современных элементах УВЧ часто используют каскодную схему, в которой полезно сочетаются свойства активных элементов. В схеме УВЧ для КВ диапазона, представленной на рис. 34, сохранена непосредственная связь приборов: ток эмиттера второго транзистора $I_э$ является током стока первого. Дополнительная развязка обеспечивается «заземлением» базы *T2*. Ре-

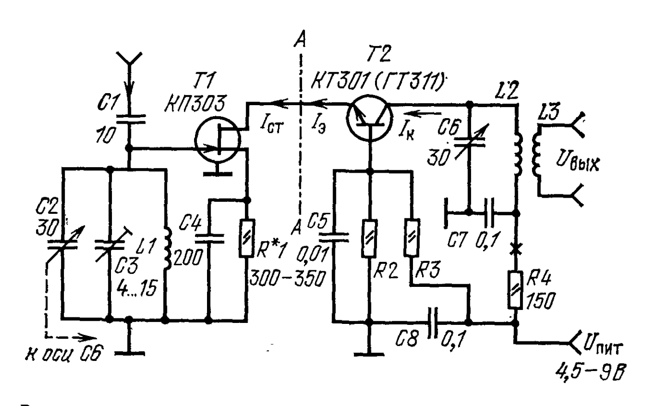


Рис. 34. Каскодная схема УВЧ на полевом и биполярном транзисторах с последовательным питанием

зонанс в контурах повышает общее усиление УВЧ. Каскодное включение обеспечивает стабильное усиление при достаточно большом выходном сопротивлении, что позволяет подключать коллекторную цепь транзистора *T2* непосредственно к контуру (для схемы рис. 34 — *L2C6*). При указанной полярности источника питания следует использовать *n-p-n* транзистор *T2* и *T1* с *n* каналом. Эквивалентная крутизна определяется произведением крутизны полевого транзистора *S* на коэффициент передачи тока биполярного транзистора в режиме малого сигнала в схеме с общей базой ($h_{21б}$). Общее стабильное усиление УВЧ может превышать несколько десятков: такой каскад можно использовать и в УПЧ.

Заметим, что полевой транзистор в каскаде является управляемым источником тока для биполярного транзистора. Эффективность схемы рис. 34 обеспечивается высоким $R_{вх}$ полевого транзистора, полным включением контуров *L1C2* и *L2C6,* коэффициентом усиления, хорошим согласованием транзистора в режиме с общей базой с контуром *L2C6*, а высокая стабильность — малым дрейфом тока стока и малой проходной проводимостью полевого транзистора, «заземлением» базы *T2*, что уменьшает связь выходного контура с входом каскада, повышает стабильность его параметров при действии дестабилизирующих факторов.

Бóльшее усиление каскада необходимо в УПЧ, в приставках к УНЧ для местного приема, но не в УВЧ супергетеродина. Усиление уменьшают вводом цепи ООС по току, исключая *C4* и увеличивая сопротивление резистора *R1*, а также изменяя режим работы биполярного транзистора (заменой резисторов *R2R3* при некотором исходном резисторе *R1*, впоследствии также уточняемом при настройке). Этот резистор выбирают с учетом сохранения положения рабочей точки в пределах квадратичного участка характеристики полевого транзистора. В цепь коллектора включают миллиамперметр на 1—5 мА (место разрыва цепи обозначено знаком ×). Сигнал подводят вначале к эмиттеру *T2*, а затем — ко входу УВЧ. При подборе резистора *R1* убеждаются в том, что работа полевого транзистора эффективно изменяет режим всего УВЧ, так как смещение рабочей точки полевого транзистора должно изменять сопротивление канала и режим работы биполярного транзистора. Так как ток базы *T2* мал, то ток стока полевого транзистора примерно равен току коллектора биполярного. Если смеситель выполняется на полевых транзисторах, то его затвор присоединяют непосредственно к цепи *L2C6,* что позволяет исключить катушку *L3* и уменьшить потери сигнала. При настройке напряжение на контуре *L2C6* контролируют ВЧ головкой или универсальным прибором (УП).

Укладка диапазона УВЧ. Производится с помощью внешнего ГСС или гетеродина. Высшая частота диапазона устанавливается подстроечными конденсаторами при выведенном роторе КПЕ, низшая — подстроечными сердечниками катушек при введенном роторе. Для укладки можно использовать и частотомер (приставку к УП), проградуированный по точному ГСС, а также вспомогательный радиовещательный приемник. Вход УВЧ соединяют с его выходом конденсатором небольшой емкости. Усилитель самовозбуждается и работает как генератор на частотах настройки. Перестраивая контуры с помощью КПЕ, определяют крайние частоты генерации. Они должны соответствовать границам принимаемого диапазона волн.

Проверка полосы пропускания УВЧ. Вышесказанное положение о необходимости проверки полосы пропускания во избежание частотных искажений,

возникающих при чрезмерно высокой добротности контура, усугубляется в многокаскадных УВЧ, когда независимые контуры работают последовательно (см. рис. 9,*а*). Результирующая полоса П должна проверяться расчетом:

$$П = \frac{f_{мин}}{(3-5)\, 2\Delta f_{п} K},$$

где $f_{мин}$ — низшая частота рабочего диапазона. Коэффициент K зависит от числа последовательно работающих на частоте сигнала контуров (n). При $n=1$ $K=1$; при $n=2$, $K=1{,}56$, а при $n=3$, $K=1{,}96$. Наиболее жесткие требования к допустимому значению Q контуров предъявляются в ДВ диапазоне, затем проверяется ВЧ конец СВ диапазона. Значение Q можно увеличить на ВЧ конце СВ диапазона.

Режим УВЧ. Усиление УВЧ невелико, поэтому режим работы активного элемента не форсируют. Стараются обеспечить стабильное усиление, низкий уровень искажений, малые шумы. Обычно рабочую точку выбирают в конце квадратичного участка проходной (переходной) характеристики активного элемента (начало участка — в области напряжений отсечки). Это необходимо для того, чтобы при действии цепи АРУ при приходе сильного входного сигнала, рабочая точка перемещалась в пределах этого участка.

Контуры высокой добротности в УВЧ. Для повышения селективности по зеркальному каналу добротность контуров КВ диапазонов полезно увеличить. На рис. 35 показано, что чем выше рабочая частота, тем больше станций рас-

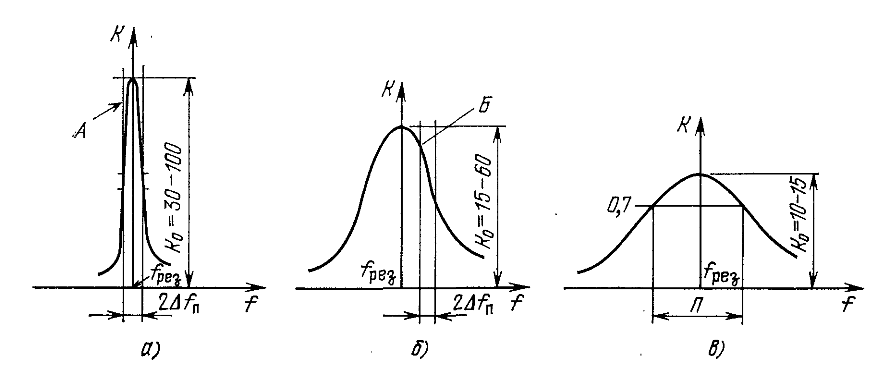


Рис. 35. Сравнительные амплитудно-частотные характеристики контуров:
а — ДВ диапазон (*А* — зона частотных искажений при чрезмерной добротности); *б* — СВ диапазон (*Б* — искажения при расстройке или неверном сопряжении); *в* — КВ диапазон

полагается в полосе пропускания и тем меньше усиление ВЧ каскада. Обратим внимание на следующее обстоятельство: чем выше Q, тем более жесткие требования предъявляются к стабильности величин L и C контуров, к уменьшению их расстройки под влиянием дестабилизирующих факторов (особенно важно для гетеродинов). Повышение Q возможно двумя путями: использованием высококачественных ВЧ сердечников, стабильных при эксплуатации, и увеличением габаритных размеров контуров. Известны высокостабильные контуры с многовитковыми катушками и конденсаторами малой емкости (2—5 пФ) по типу СВЧ контуров. Они очень громоздки. Приемлемыми размерами обладают контуры с экранированными катушками из 20—25 витков, выполненными из провода ПЭ 1,8—ПЭ 2,2 с диаметром обмотки 25—30 мм и длиной спирали

80—100 мм. Спираль наматывается на металлической трубе, затем растягивается и слегка прогревается для снятия механических напряжений. Конденсаторы — КПЕ от УКВ приемников или подстроечные от устаревших типов телевизоров. Лучшие из них — с фарфоровой изоляцией с $C_{макс}$=15—25 пФ размещаются вместе с катушкой в общем замкнутом экране.

Менее стабильна работа конструкции с выводами к переключателю витков, но они могут работать в нескольких диапазонах. Вид одной из конструкций, выполненной в экране из опиленного аэрозольного баллона, показан на рис. 36. Конденсатор смонтирован на крышке баллона, его ось проходит сквозь крышку, а катушка расположена на вспомогательной полоске жести, прикреп-

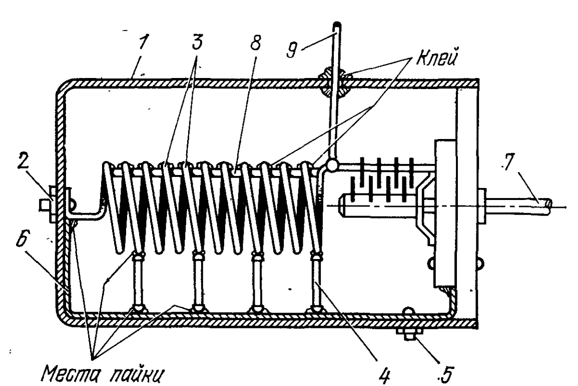


Рис. 36. Конструкция КВ контура высокой добротности:
1 — корпус-экран; *2* — узел крепления; *3* — витки катушки; *4* — стойки крепления витков (фарфор); *5* — узел крепления; *6* — полоса из жести; *7* — ось КПЕ; *8* — палочка из фарфора или ВЧ феррита, приклеенная полистироловым клеем; *9* — вывод (вклеен)

ляемой затем к стенке экрана. Витки катушки фиксируются палочками из фарфора (резисторами без слоя углерода) путем пайки к катушке и полоске. Полоска вместе с катушкой фиксируется болтом к дну экрана. В этом же месте образуется контакт одного конца катушки, другой конец припаивается к статору конденсатора. К месту пайки подводят и жесткий внешний вывод для присоединения активного элемента. При использовании ВЧ сердечников желательно подвергнуть их предварительному старению, размещать катушку так, чтобы она меньше подвергалась внешним влияниям. Интересны конструкции, в которых ВЧ ферритовые удлиненные стержни малого диаметра используются как фиксаторы самих витков. Их вклеивают в катушку вдоль спирали полистироловым клеем. Стержни скрепляют витки и выполняют роль сердечника.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ, СМЕСИТЕЛИ И ГЕТЕРОДИНЫ

Преобразование частоты. Осуществляется активным элементом с нелинейной вольт-амперной характеристикой и сводится к выделению определенной составляющей из продуктов биений, которые образуются при перемножении двух сигналов (ВЧ напряжений), подводимых к нелинейному элементу. Эффективность режима перемножения зависит от смещения и вида характеристики активного элемента. На выходе преобразовательного каскада включается фильтр — колебательный контур (или система контуров — ФСС), настроенный на частоту выбранной составляющей, которая затем усиливается УПЧ. На рис. 37 показаны временные диаграммы, на которых условно изображены ВЧ колебания, биения между ними, импульсы тока смесителя (или преобразовате-

ля). Образование этих импульсов происходит под влиянием, напряжения, $U_{гет}$ периодически смещающего рабочую точку из области больших токов в область малых или даже полностью запирающего активный элемент на какую-то малую долю периода напряжения $U_{гет}$.

Амплитуда напряжения ПЧ зависит от крутизны. Подобно тому, как в УВЧ коэффициент усиления $K=SR_н$, где $R_н$ — сопротивление нагрузки, например, эквивалентное сопротивление контура, так и при преобразовании $K_{пр}=S_{пр}R_н$, где $S_{пр}$ — крутизна преобразования (отношение приращения тока ПЧ $I_{ПЧ}$ к приращению напряжения усиливаемого высокочастотного сигнала), а $R_н$ — эквивалентное сопротивление контура ПЧ в нагрузке (или $R_э$ — фильтра). Крутизна преобразования зависит от крутизны активного элемента и напряжения $U_{гет}$, а точнее, от изменений малосигнальной крутизны под влиянием $U_{гет}$. Напряжение $U_{гет}$ — гармоническое колебание, поэтому рабочая точка

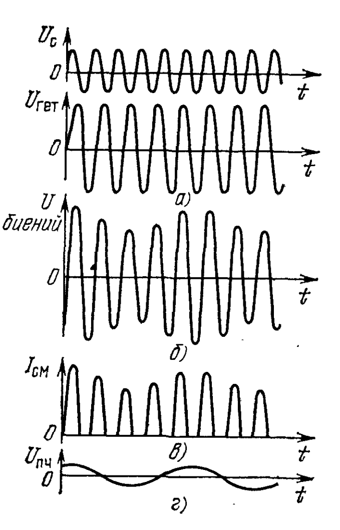


Рис. 37. Графики, иллюстрирующие образование напряжения ПЧ при биениях двух синусоидальных сигналов:

а — перемножаемые сигналы; *б* — биения; *в* — импульсы тока в выходной цепи смесителя; *г* — напряжение ПЧ

активного элемента под его влиянием непрерывно изменяет положение и перемещается по характеристике с частотой $f_{гет}$. При этом малосигнальная крутизна принимает значения от $S_{мин}$ до $S_{макс}$. Чем больше размах указанных отклонений (или приращений крутизны) от некоторого среднего значения, определяемого крутизной покоя S_0 (крутизной при $U_{гет}=0$), тем больше напряжение ПЧ ($U_{ПЧ}$). Сразу же отметим, что так как крутизна является производной от тока, исходными являются изменения тока через активный элемент при периодических сдвигах рабочей точки. Поэтому именно средний ток следует учитывать при расчете автоматического смещения.

Преобразователи на биполярных транзисторах. Они обязательно содержат входную цепь для подачи напряжения сигнала, цепь гетеродина с элементами связи его контура с биполярным транзистором и выходную цепь — фильтр, выделяющий напряжение ПЧ. Кроме того, схема преобразователя содержит элементы, обеспечивающие работу транзистора: делители напряжения и развязывающие резисторы. На рис. 38 приведена схема совмещенного с гетеродином преобразователя на транзисторах П401—П403. Здесь входная цепь выполнена на катушке *L1* и секции КПЕ, вторая секция которого входит в контур гетеродина на катушке *L4*, имеющей отвод для согласования и дополнительную катушку обратной связи.

В цепях питания транзистора установлены развязывающие цепочки. Первая — в цепи питания коллектора. Вторая представляет собой делитель напряжения в цепи базы. С помощью этой цепи фиксируется постоянное напряжение на базе транзистора, поэтому напряжение, выделяющееся на эмиттерном резисторе *R2* при действии различных дестабилизирующих факторов, стабилизирует

положение рабочей точки (главным образом при изменении температуры). Для повышения стабильности положения рабочей точки целесообразно соединять цепь питания каскада с источником стабильного напряжения (включить в цепь питания стабилитрон).

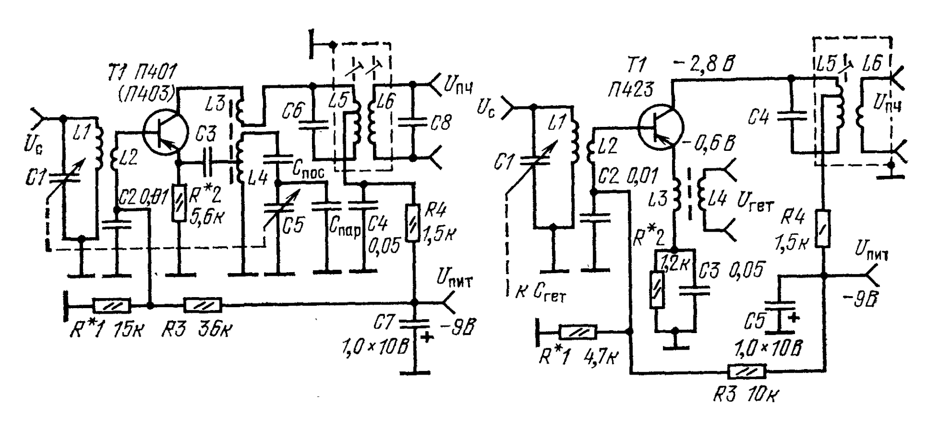


Рис. 38. Преобразователь на биполярном транзисторе

Рис. 39. Смеситель на биполярном транзисторе

Активный элемент выполняет в схеме две функции: питает контур энергией, что компенсирует потери в нем и поддерживает незатухающие колебания, и работает как смеситель колебаний. В преобразователях на биполярных транзисторах по отношению к сигналу используют схему включения с общим эмиттером, что обеспечивает максимальное усиление преобразуемого сигнала. Для этого рабочую точку выбирают в середине рабочего участка проходной характеристики. Для лучшей работы маломощного генератора — гетеродина стараются уменьшить потери в контуре, используют транзистор с высокой граничной частотой в 5—10 раз выше рабочей, позволяющей генерировать максимальные частоты. В схеме рис. 38 для нормальной работы преобразователя подбирают режим гетеродина таким образом, чтобы между базой и эмиттером действовало напряжение $U_{гет}$ около 80—120 мВ. Его можно измерить на резисторе *R2*.

Смесители на биполярных транзисторах. У преобразователей на биполярных транзисторах имеются существенные недостатки. Основной из них — влияние входной (сигнальной) цепи на работу гетеродина из-за значительных междуэлектродных емкостей (проводимостей). Эти связи оказывают дестабилизирующее воздействие и расстраивают контур гетеродина. Через эти же связи напряжение гетеродина проникает во входную цепь и далее в антенну. Наилучшее преобразование происходит при вполне определенном напряжении гетеродина. Дело в том, что при перемещении рабочей точки по характеристике, она заходит в область малых и больших токов, поэтому средний ток через транзистор изменяется. Как и у других активных элементов, средний ток больше при увеличенном напряжении гетеродина и при большей крутизне характеристики, которая в общем случае отражает приращение тока при единичном приращении напряжения на его управляющем электроде. При некоторых допущениях она может определяться и для биполярных транзисторов. Генерирование колебаний происходит при несколько других значениях среднего тока через активный эле-

мент, определяемых соображениями обеспечения стабильности колебаний. При чрезмерно малых токах колебания нестабильны и могут сорваться. В смесителе оптимальное напряжение $U_{гет}$ подводится от отдельного гетеродина. К достоинству смесителей относится и значительно большая развязка цепи гетеродина с цепью входа приемника.

Схема смесителя на биполярном транзисторе приведена на рис. 39. Вместо узла гетеродина в схеме имеется ВЧ трансформатор связи эмиттерной цепи с отдельным гетеродином. Элементы цепей смещения и подвода питания идентичны таким же цепям в преобразователе, причем отличия больше зависят от типа транзистора и подбора режимов. Так, например, вместо связанных контуров на выходе схемы, показанной на рис. 38, в схеме рис. 39 установлен контур с катушкой связи L, что предполагает использование ФСС на пьезоэлементах. В приемниках с преобразователями обеспечивается меньшая стабильность частоты гетеродина, нежели в приемниках со смесителями, так как условия работы гетеродинов в последних существенно лучше. Для смесителей выбирают транзисторы с высоким значением коэффициента передачи по току $h_{21э}$, так как крутизна преобразования прямо связана с усилительными свойствами активных элементов (без учета искажений).

Рассмотрим один из распространенных способов подбора режима. Рабочую точку смесителя выбирают в центре квадратичного участка проходной характеристики, снятой для включения с общим эмиттером. При этом также стараются устанавливать ток коллектора не выше 1 мА. «Крутизна преобразования» для транзисторов типов П401—П403 обычно составляет в таком режиме примерно 2,5—3 мА/В.

Наиболее существенным недостатком схем преобразования на биполярных транзисторах является небольшая протяженность участков характеристик, на которых обеспечиваются сравнительно малые искажения этого процесса. Увеличение искажений наблюдается и при нарушении установленного режима по постоянному току, и при росте напряжения гетеродина, и при увеличении уровня сигнала. Таким образом, на преобразователь (даже при отсутствии связи управляющего электрода транзистора с цепью АРУ) оказывают воздействие многие факторы. Рассмотрим причины, влияющие на рост искажений и выбор режима для их снижения.

Искажения при преобразовании. При преобразовании $U_{ПЧ} = U_c R_{нагр} S_{пр}$, где $S_{пр} = 0{,}5\,\Delta S_м$, а $\Delta S_м$ — приращение крутизны в процессе сдвига рабочей точки от $S_{макс}$ до $S_{мин}$, $\Delta S_м = 1/2(S_{макс} - S_{мин})$. Так как $S_{мин}$ можно считать равной нулю, то $S_{пр} \approx 1/4\, S_{макс}$. Казалось бы, что значительным увеличением $U_{гет}$ можно существенно увеличить эффективность процесса преобразования. Но это не так. Искажения малы до тех пор, пока крутизна характеристики изменяется по линейному закону, т. е. при изменении напряжения на управляющем электроде находится в пределах линейного участка, что соответствует изменению тока через активный элемент по квадратичному закону. На рис. 40 дан примерный вид кривой «крутизны» транзистора типа ГТ309А. Значения крутизны — в миллиамперах на вольт. Когда амплитуда напряжения гетеродина мала, напряжение не выводит рабочую точку за границы участка, который условно можно заменить прямой, вследствие чего искажения в процессе преобразования также невелики. С ростом $U_{гет}$ значение максимальной крутизны превышает показанный на рис. 40 предел и искажения увеличиваются. Они становятся ощутимыми, когда $U_{гет}$ превышает 0,1—0,12 В.

Пользуясь характеристикой полевого транзистора, приведенной в правой части рис. 41, можно выбрать напряжение смещения и пояснить работу смесителя для случая малых искажений. При работе гетеродина его напряжение (здесь мы не учитываем знак — $U_{зи}$) суммируется с напряжением смещения: $E_{макс}=E+U_{гет}$; $E_{мин}=E—U_{гет}$. Изменение положения рабочей точки приводит к тому, что крутизна приобретает значения от $S_{макс}$ (точка A) до $S_{мин}$ (точка B). Как видно из рис. 41, даже без захода за напряжение отсечки напряжение $U_{гет}$ может превышать 3 В. Получение характеристики S по точкам и определение необходимого участка для работы трудоемко. Нужную информацию о крутизне можно получить на переменном напряжении, временно включая полевой или биполярный транзистор в схему макета УВЧ или в каскад УВЧ, снабженный гнездами для активного элемента.

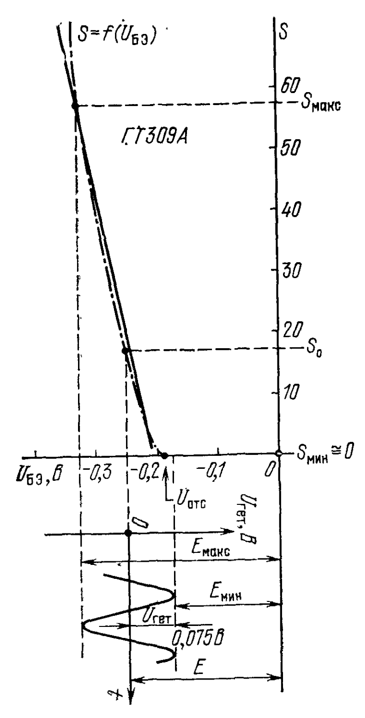


Рис. 40. Графики, иллюстрирующие работу смесителя на биполярном транзисторе

Для измерений в цепи питания по постоянному току следует ввести миллиамперметр (после соответствующего конденсатора блокировки) и потенциометр для изменения смещения на затворе полевого транзистора (соединенный с вольтметром) также после развязывающей цепочки. Сигнал ($U_{вх}$=const) подводят от ГСС или ВЧ генератора, а к выходному контуру УВЧ подключают головку УП для измерения амплитуды ВЧ напряжения на контуре $U_{вых}$ и расчета коэффициента усиления каскада K. Это напряжение связано с крутизной S зависимостью $U_{вых}/U_{вх}=K=SR_э$, где $R_э$ — эквивалентное сопротивление контура. Зная коэффициент K ($U_{вых}$ при $U_{вх}$=const) для равных приращений постоянного управляющего напряжения активного элемента можно определить верхнюю границу квадратичного участка. Нижнюю границу можно считать находящейся в зоне напряжений отсечек.

Измерения $U_{вых}$ на настроенном УВЧ, в котором предусмотрены гнезда для включения различных активных элементов, позволяют подобрать необходимый режим работы не только полевого транзистора, но и составного активного элемента, подобрать сопротивление канала полевого транзистора, играющего роль эмиттерного резистора биполярного транзистора. Заметим, что окончательную коррекцию режима работы узла можно провести уже на полностью смонтированном приемнике. Сдвиг рабочей точки транзистора при изменении его режима, например при действии АРУ, приходе сильного сигнала или мощной помехи, может привести к резкому возрастанию искажений. Поэтому важно, чтобы протяженность линейного участка характеристики крутизны была бы больше, т. е. крутизна изменялась линейно в больших пределах изменения напряжения, управляющего положением рабочей точки.

Преобразователи и смесители на полевых транзисторах. Перед выполнением этих устройств необходимо убедиться в работоспособности ПТ. Простое приспособление для оценки их усилительных свойств содержит источники питания и потенциометр, движок которого соединен с вольтметром постоянного напряжения и гнездом панельки для подключения вывода затвора. В цепи питания стока включен миллиамперметр на 1—10 мА и вольтметр для измерения

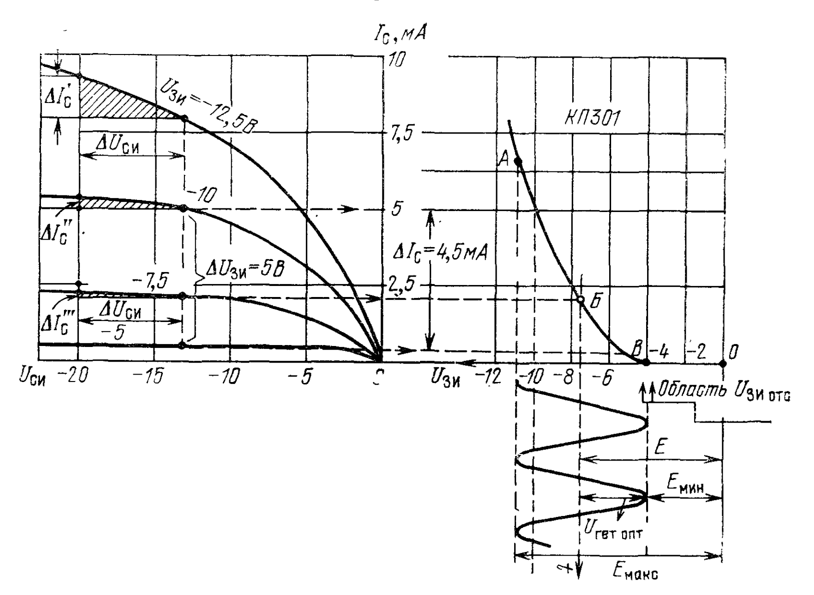


Рис. 41. Графики основных характеристик полевых транзисторов:
а — семейство выходных характеристик; *б* — проходная или переходная характеристика

напряжения между стоком и истоком. Подавая на затвор положительное или отрицательное напряжение ступенями $\Delta U_{ЗИ}$ (зависит от типа полевого транзистора), можно измерить и записать ток стока и вычислить приращения тока стока, т. е. определить статическую крутизну $S=\Delta I_С/\Delta U_{ЗИ}$ при заданных напряжениях на стоке и затворе. Как показано на рис. 41, ряд характеристик полевых транзисторов, снятых при различных напряжениях, на затворе, образует семейство.

Из характеристик семейства следует, что приращения тока стока $\Delta I_С$ при изменении напряжения на затворе значительно больше приращений тока стока $\Delta I'_С$ (они отмечены штрихами) от изменения напряжения на стоке $\Delta U_{СИ}$. На том же рис. 41 справа показана проходная характеристика. Характер кривой на участке напряжений $U_{ЗИ}$ аналогичен квадратичной зависимости. Для КП301 эта зависимость квадратична на участке от напряжения отсечки до $U_{ЗИ}=$ $=-10$ В. Если приращения токов подчиняются квадратичному закону, разность квадратных корней из значений токов стока, соответствующих равным приращениям напряжения на затворе этого транзистора, должна быть одинаковой. Для напряжения затвора $U_{ЗИ}=-10$ В ток равен 5 мА, для $U_{ЗИ}=-8$ В — соответственно — 2,5 мА, а для напряжения $U_{ЗИ}=-6$ В равен 0,88 мА. Действительно, разности корней $\sqrt{5}-\sqrt{2,5}$ и $\sqrt{2,5}-\sqrt{0,88}$ равны.

Схемы перемножающих устройств на полевых транзисторах (преобразователя и смесителя) даны на рис. 42,*а* и *б*. Основная задача этих устройств: получение $U_{\text{ПЧмакс}}$ при низком уровне искажений и шумов. Для ее решения выбирают полевые транзисторы с низкими шумами и повышенной крутизной. При настройке схемы преобразователя, изображенной на рис. 42,*а*, необходимо добиться устойчивой генерации, произвести укладку диапазона ВЧ и гетеродина.

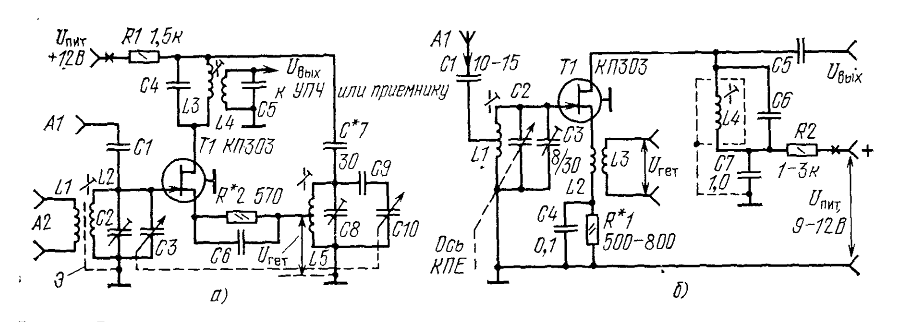


Рис. 42. Перемножающие устройства на полевых транзисторах:
а — преобразователь; *б* — смеситель; *А1* — гнездо обычной антенны; *А2* — вход симметричной антенны; *Э* — экран, исключающий емкостную связь катушек *L1* и *L2*

Так как для возбуждения автоколебаний напряжение на контур гетеродина подводится через *С7* с резистора *R1*, сопротивление этого резистора, число витков отвода от катушки *L5*, а также сопротивление резистора *R2* подбирают, пользуясь УП с головкой. Диапазон гетеродина устанавливают с помощью частотомера, а укладку диапазона ВЧ — по внешнему ГСС, включаемому к ВЧ контуру через конденсатор *С1*. Напряжение $U_{\text{вых}}$ при этом измеряют на вспомогательном дросселе, включенном временно между контуром ПЧ и стоком транзистора. При выключенном гетеродине обе схемы близки к обычному усилителю и этим можно воспользоваться для выбора рабочей точки. Заменив контур ПЧ в стоковой цепи на ВЧ контур можно измерить ряд напряжений $U_{\text{вых}}$ при постоянном уровне входного сигнала от внешнего ГСС на некоторой частоте настройки вспомогательного контура (входной контур можно подстроить на эту частоту). Подбирая резистор истоковой цепи, напряжение питания, резистор в цепи стока можно измерить $U_{\text{вых}}$ для разных режимов, определить путем построения графика характер изменения $U_{\text{вых}}$, который в данном случае идентичен изменению крутизны *S*. Эти значения $U_{\text{вых}}$ будут изменяться от малых значений к большим, проходя некоторый линейный участок. Протяженность линейного участка определяет амплитуду $U_{\text{гет}}$ для преобразования с малыми искажениями, а его середина — оптимальную рабочую точку.

Выбор оптимального режима работы преобразователя можно выполнить и иначе. Выбранный для работы полевой транзистор вначале испытывают в схеме отдельного УВЧ при различных напряжениях на затворе, строят график $U_{\text{вых}}$, определяют оптимальный режим, а затем воспроизводят этот режим в преобразователе или смесителе. Схема смесителя изображена на рис. 42,*б*. Очевидно, что схему смесителя наладить проще, нежели схему преобразователя. Заметим, что сопротивление резистора *R1*, к подбору которого сводится налаживание схемы, в режиме усиления меньше, так как преобразование ведется

при несколько меньшей крутизне. Желательно при выборе резистора *R1* одновременно контролировать средний ток стока (прибор включают в цепь питания в месте, показанном знаком ×). Для полевых транзисторов типа КП302 и КП303 с индексами *А* и *Б* резистор *R1* может иметь сопротивление 600—850 Ом. Оно зависит и от амплитуды гетеродина. Для полевых транзисторов с большим начальным током стока (при $U_З=0$) сопротивление резистора *R1* берут меньше.

Смесители на двухзатворных полевых транзисторах имеют ряд преимуществ. Все они в той или иной степени проявляются за счет малой проходной емкости (сотые доли пикофарад), которая исключает сильные связи между узлами смесителя. Это же обстоятельство способствует и повышению стабильности работы, упрощению налаживания и настройки смесителей, выполнению цепей регулировки независимого действия. Повышение стабильности работы смесителя положительно сказывается и на стабильности настройки приемника, особенно если он содержит и стабильно работающий гетеродин. Для питания смесителей на полевых транзисторах целесообразно использовать двухтактные гетеродины, обеспечивающие повышенное напряжение.

Основным недостатком двухзатворных полевых транзисторов является повышенный уровень собственных шумов. Этот недостаток ухудшает и шумовые свойства смесителей. Шумы двухзатворных полевых транзисторов в 2—3 раза выше шумов малошумящих (типа КП303 с индексами Д и Е). Но этот недостаток проявляется преимущественно в чувствительных приемниках без УВЧ.

Гетеродин. Обычно это маломощный генератор, который работает в диапазоне частот, обеспечивая вспомогательным напряжением смеситель. Требования к гетеродину: реализация заданного перекрытия частот, стабильность частоты, достаточность и необходимое постоянство амплитуды (в лучших конструкциях — возможность регулировки амплитуды), возможно меньшее содержание гармоник, малые собственные шумы, отсутствие паразитных колебаний, незначительное изменение частоты при действии различных дестабилизирующих факторов (в основном, температуры). К дополнительным требованиям, относящимся главным образом к гетеродинам многодиапазонных супергетеродинов, относится упрощение их перестройки, а точнее — уменьшение числа контактов в схеме. Гетеродины на биполярных транзисторах широко используются в простых приемниках (см. схему рис. 55).

Расчет гетеродина сложен, поэтому при конструировании следует рассчитать его *LC* контур, измерить рабочие частоты, а затем, включив контур в схему генератора, проверить режим работы ($U_{гет}=U_{вых}$), означает отсутствие гармоник. После этого окончательно уточнить границы диапазона при перестройке. Малое количество гармоник обеспечивается гетеродинами, выполненными по симметричной двухтактной схеме. Хорошо налаженные генераторы такого типа практически не содержат четных гармоник.

Сразу же укажем, что двухтактные гетеродины более мощны, нежели однотактные, в силу чего нежелательное «пролезание» $U_{гет}$ в антенну и УПЧ может увеличиться. Поэтому такие гетеродины целесообразно использовать как автономные (ГСС) в приемниках с УВЧ, тщательно экранировать, снабжать аттенюаторами. Важно также правильно выбрать режим гетеродина. При чрезмерно большом колебательном напряжении растет процентное содержание гармоник. Уменьшение амплитуды переменного напряжения способствует уменьшению уровня гармоник. Но снижение этого уровня понижает и напряжение промежуточной частоты в смесителе, так как $U_{ПЧ}=KU_сU_{гет}$.

Проверить наличие гармоник гетеродинов ДВ, СВ и «длинноволновых» КВ диапазонов можно по вспомогательному достаточно чувствительному приемнику. Для этого подключают экранированным кабелем вход приемника через конденсатор связи с емкостью 0,5—1 пФ непосредственно к контуру испытываемого гетеродина. Наблюдают за индикатором вспомогательного приемника и показаниями, отсчитываемыми со шкалы его настройки и шкалы гетеродина как при перестройке вспомогательного приемника ($f_{гет}=\text{const}$), так и при перестройке гетеродина. Гармоники частоты $f_{гет}$ наблюдают на частотах $2f_{гет}$ и $3f_{гет}$. Амплитуда необходимого напряжения гетеродина зависит от типа активного элемента преобразователя или смесителя.

Для преобразователей на биполярных транзисторах с большой крутизной $S_{пр}$ напряжение $U_{гет}$ для КВ диапазонов (49—31 м) достигает 120—140 мВ, а для диапазонов 25 м и короче — 100—120 мВ. Для полевых транзисторов — 1,5—2 В.

Любой из гетеродинов содержит следующие основные звенья: активный элемент, цепь смещения, цепь ПОС и колебательный контур. Чем ниже добротность контура, тем меньше запасаемая им энергия, тем больше расход тока, выше требования к активному элементу (крутизна должна быть больше). Более стабильные генераторы выполняют на основе контура высокой добротности с малыми потерями, все детали каскада устанавливают на высококачественной изоляции и т. д., так как именно от стабильности частоты, на которой возбуждается резонансная система, будет зависеть стабильность работы гетеродина, смесителя и приемника в целом. Если в УВЧ добротность контуров Q лимитировалась полосой пропускания, то в гетеродинах она в основном лимитируется стабильностью генерируемой частоты. Поэтому на детали гетеродина по возможности не должны оказывать дестабилизирующее действие внешние факторы. Кроме увеличения крутизны активного элемента, желательны стабилизация напряжения питания и ослабление связи контура со смесителем, т. е. с цепью, режим которой изменяется при изменениях сигнала или появлении мощной помехи, что может случайно нарушить уже установившийся режим генерации и тем изменить амплитуду и частоту напряжения на выходе преобразователя (смесителя).

Весьма нежелательными являются паразитные колебания гетеродина. Если крутизна его активного элемента велика, а на некоторой паразитной частоте $f_{пар}$, не равной частоте генерации (обычно $f_{пар}>f_{гет}$), образуется нагрузка, сопротивление которой достаточно высоко, то на ней выделяется паразитное ВЧ напряжение и может возникнуть самовозбуждение. Для ликвидации этого явления следует всемерно укорачивать соединительные проводники, улучшать фильтрацию напряжения питания и снижать выходное сопротивление его источника. В чувствительном приемнике, установив максимальное усиление, можно прослушать шумы гетеродина, включая и отключая его питание (гнезда антенны закорочены). Специально для проверки можно увеличивать емкость связи гетеродин—смеситель, чтобы уменьшить сопротивление для шумового напряжения. В гетеродинах обычно используются маломощные биполярные ВЧ транзисторы типов П401—П403, ГТ301 (ГТ308, ГТ309).

Гетеродин на полевых транзисторах. Большие входные и относительно бо́льшие, чем у биполярных транзисторов, выходные сопротивления, малые шумы позволяют выполнять гетеродины на полевых транзисторах, удовлетво-

ряющие повышенным требованиям. На рис. 43,*а* приведена схема **гетеродина** на полевых транзисторах типов КП302 или КП303 (для всех КВ диапазонов с $f_{гет}$ до 20—30 МГц), выполненная по схеме параллельного питания.

Заметим, что если в стоковую цепь *Т2* включить катушку связи с контуром *L2C4*, гетеродин можно выполнить на одном *Т2* и тем самым схему рис. 43,*а*

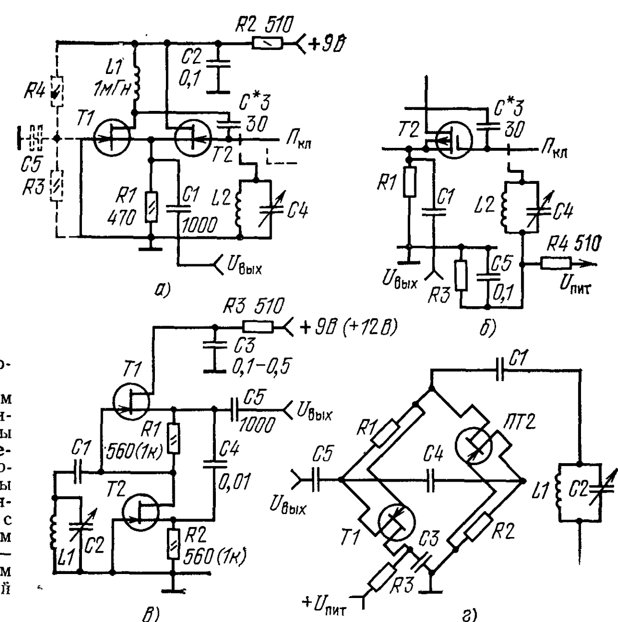


Рис. 43. Гетеродины на полевых транзисторах:
а — схема с параллельным питанием (штриховой линией показаны резисторы делителя напряжения в цепи изолированного затвора); *б* — вариант схемы включения *Т2* с изолированным затвором; *в* — схема с последовательным питанием активного элемента; *г* — схема с последовательным питанием в виде мостовой схемы

превратить в смесительную. Для этого конденсатор *С1* выпаивают, а *С3* отсоединяют от затвора *Т2* и соединяют с входом УПЧ. В цепь стока *Т1* вводят контур УПЧ, а в цепь его затвора — контур для напряжений сигнала.

Истоковый резистор *R1* обоих транзисторов служит элементом связи гетеродина и смесителя. Преимущество устройства — слабая связь гетеродина с антенной. Рассмотрим, однако, схему рис. 43,*а* как гетеродинную. Высокое $R_{вх}$ позволяет ослабить связь контура *L2C4* с транзисторами. Схема коммутации упрощена: нужен только один контакт для каждой катушки, а упрощение переключателей и исключение лишних соединений увеличивает стабильность $f_{гет}$. Для КВ диапазонов индуктивность дросселя *L1* составляет 0,8—1,2 мГн (бóльшая индуктивность — для диапазонов 50 и 75 м). Емкость конденсатора $C3 \approx 25$—30 пФ; его заменяют подстроечным конденсатором емкостью 25—35 пФ. Подбор *С3* позволяет улучшить постоянство напряжения $U_{гет}$ по диапазону, чем, собственно, и оканчивается настройка. Достоинства такого гетеродина: увеличенная мощность, малый уровень гармоник, большая стабильность, нежели у схем на одном полевом транзисторе. Так как схемы подобного типа имеют повышенную мощность, они меньше подвержены изменению режима при случайном изменении сопротивления нагрузки. Наличие общего для полевого транзистора истокового резистора, с помощью которого осуществляется ООС, также способствует увеличению стабильности работы при случайном изменении параметров одного из полевых транзисторов. Так, например,

случайное приращение проводимости одного из полевых транзисторов, эквивалентное некоторому смещению его рабочей точки, автоматически изменяет напряжение на истоковом резисторе, что вызывает противоположное по знаку смещение рабочей точки другого транзистора, стабилизирующее суммарный ток через этот резистор.

Емкости управляющих переходов полевых транзисторов подключены к контуру последовательно: потенциалы затвора *T1* и нижней точки контура равны 0, так как они соединены с общей шиной. Поэтому изменение емкости любого из переходов, например при изменении температуры, оказывает на контур меньшее влияние. Для работы в диапазонах ДВ и СВ индуктивность дросселя *L1* увеличивают с тем, чтобы его индуктивное сопротивление $\omega L1$ было в несколько раз больше сопротивления контура на частотах этих диапазонов. Один из полевых транзисторов может быть заменен на транзистор с изолированным затвором. Схема генератора-гетеродина при этом несколько видоизменяется, как показано на рис. 43,*а* (штриховая линия слева). Смещение на изолированный затвор поступает с делителя напряжения на резисторах *R3* и *R4*, а соединение его с общей шиной по переменному току осуществляется конденсатором *C5*. При такой замене целесообразно использовать полевой транзистор с изолированным затвором, имеющий более высокую крутизну (типа КП305). Замена второго транзистора на транзистор с изолированным затвором несколько сложнее, так как затвор этого прибора непосредственно соединен с контуром. Часть принципиальной схемы при такой замене приведена на рис. 43,*б*. Сопротивления резисторов *R3* и *R4* те же, что и в схеме рис. 43,*а*. Сопротивление резистора *R1* для различных по типу полевых транзисторов может быть сохранено, а режим работы установлен резисторами *R3* и *R4*. Сначала их выбирают одинаковыми, достаточно большого сопротивления с тем, чтобы ток питания схемы не увеличивался значительно, а потом один из них подбирают, проверяя работу схемы. Обычно эти резисторы имеют сопротивление 330—470 кОм.

Близкая по принципу действия схема гетеродина представлена на рис. 43,*в*. В ней транзисторы питаются последовательно (что требует иногда повышения $U_{пит}$). Схема работает как двухтактная и отдает повышенную мощность. Истоки полевых транзисторов соединены конденсатором *C4*. Рассматриваемая схема может быть начерчена в виде моста (рис. 43,*г*), так как ВЧ потенциал стока первого транзистора благодаря наличию конденсатора *C3* равен потенциалу общей шины. Несложно показать, что в мостовой, сбалансированной схеме взаимное влияние диагоналей мало и цепи активных элементов незначительно влияют на контур *L1C2*. При уменьшении напряжения источника питания следует уменьшать сопротивления резисторов *R1* и *R2*. Их сопротивления определяют, как и при конструировании УВЧ. Емкость *C1* подбирают, как и емкость *C3* в схеме рис. 43,*а*; на ДВ и на СВ она увеличивается.

Для налаживания и проверки стабильности частоты к гетеродину (через небольшой конденсатор $C_{св}$=2—3 пФ) подключают головку частотомера. Стабильность работы генератора повышается с уменьшением отбираемой мощности. Для этого нагрузку-смеситель выполняют на полевом транзисторе с большой крутизной. Для повышения стабильности полезна стабилизация $U_{пит}$, термоизоляция *LC* контура, использование деталей, мало подверженных влиянию дестабилизирующих факторов, удаление активных элементов и резисторов из объема, в котором находится частотозадающий контур. Гетеродины СВ и КВ диапазонов (на 75 и 50 м) можно выполнить по схеме рис. 44,*а*, на транзисто-

рах типа КП305, КП304, предусмотрев соответствующую полярность $U_{пит}$. Преимущество этой схемы — увеличенная добротность *LC* контура и большее перекрытие по частоте за счет того, что секции КПЕ соединяются последовательно, при этом влияние начальных и паразитных емкостей также уменьшается. Сложность подачи смещения в цепь затвора несколько увеличивается за

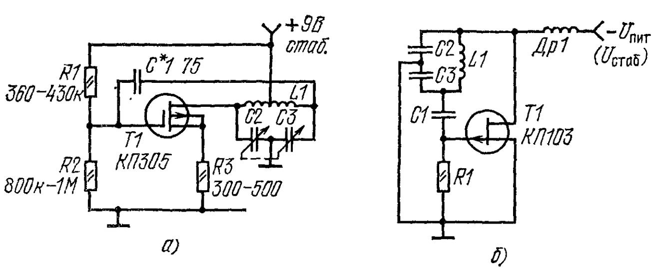


Рис. 44. Гетеродины СВ и КВ диапазонов:
а — схема с повышенной стабильностью; *б* — схема типа «емкостная трехточка»

счет ввода дополнительного делителя на резисторах, но так как входные сопротивления полевых транзисторов с изолированными затворами велики (входные емкости малы), то сами транзисторы незначительно влияют на резонансную частоту контура. Аналогичная схема на полевом транзисторе с управляющим переходом показана на рис. 44,*б*. По типу соединения активного элемента с контуром она называется «емкостной трехточкой».

Гетеродины с фиксированной настройкой. Используются в КВ супергетеродинах, работающих в узкой полосе частот, конвертерах, а также в качестве телеграфных гетеродинов КВ приемников. Для самовозбуждения транзисторного гетеродина необходимо организовать цепь ПОС с выхода каскада на его вход. Обычно цепь связи выполняют через *LC* контур или частотозадающий узкополосный фильтр (лучший фильтр с кварцевыми резонаторами). На рис. 45,*а* показана схема гетеродина с фильтром — *LC* контуром, соединяющим вы-

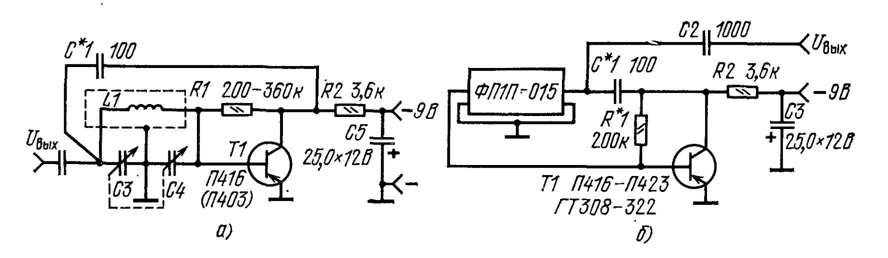


Рис. 45. Гетеродины с малой перестройкой по частоте и фиксированной настройкой:
а — схема с *LC* фильтром в цепи ПОС; *б* — схема с пьезоэлектрическим (пьезокерамическим) фильтром

ходную цепь (цепь коллектора биполярного транзистора) с входной (цепью базы). Степень ПОС (как и в схеме рис. 44) зависит от емкости конденсатора *C1*, который осуществляет передачу напряжения ОС, а частота генерации — от параметров частотозадающего контура на основе катушки *L1* и последовательно соединенных конденсаторов *C3* и *C4*. Последовательное соединение этих конденсаторов (секций КПЕ) снижает влияние начальных и паразитных емко-

стей, способствует стабильной работе устройства и увеличению перекрытия по частоте.

Режим работы транзистора по постоянному току зависит от сопротивления резистора *R1*. Заметим, что сопротивление резистора *R2* должно быть больше сопротивления конденсатора *C1*, так как этот резистор шунтирует цепочку ОС. Вместо частотозадающего контура *L1C3C4* в схему можно включить другой фильтр, например, пьезоэлектрический, малогабаритный, типа ФП. Включение фильтра типа ФП1П-0,15 показано на рис. 45,*б*. Гетеродин работает на центральной частоте фильтра, близкой к 465 кГц, поэтому его выходное напряжение можно использовать для создания частотного «ориентира» при настройке УПЧ без использования ГСС, а также для примерной градуировки других генераторов или гетеродинов.

Гетеродин с электрическим управлением. Параллельно контурной катушке можно вместе с переменным конденсатором настройки (или вместо него) включить стабилитрон (например, Д-808) или специальный кремниевый диод, играющий роль переменной емкости с электронным управлением, встречно соединенные диоды такого типа или стабильные в работе кремниевые диодные матрицы типа ВС111. Чем меньше диапазон перестройки емкости этих элементов, тем стабильнее гетеродин.

Управление частотой гетеродина сводится к регулированию напряжения смещения полупроводниковых элементов — управляемых конденсаторов. Как будет показано ниже, в супергетеродинах с раздельной настройкой все секции стандартного КПЕ отводятся ВЧ контурам, поэтому выполнение автономного гетеродина может быть затруднено отсутствием места на передней панели для второго КПЕ и для второй шкалы. Поэтому вторую шкалу настройки можно заменить вольтметром, связанным с потенциометром установки регулируемого стабильного напряжения, которое служит для управления потенциалом переходов или смещения диодов. Его показания будут соответствовать значениям частоты $f_{гет}$ или значениям $\Delta f_{гет}$.

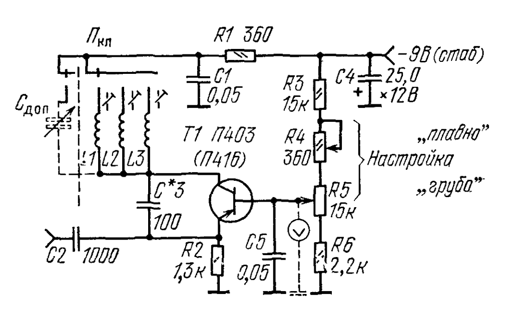


Рис. 46. Гетеродин со сменными контурными катушками и электрической подстройкой рабочей частоты

Схема электрического управления частотой $f_{гет}$ приведена на рис. 46. В качестве переменного конденсатора используется переход коллектор — база биполярного транзистора, находящегося в самой схеме автогенератора. Гетеродин с таким управлением разумно использовать в КВ приемниках. Их смена производится переключением катушек *L1—L3* (упрощенная коммутация). Режим генерации устанавливается подбором емкости связи *C3*, а подстройка $f_{гет}$ — изменением напряжения на базе транзистора. Глубокая регулировка этого напряжения может сорвать генерацию.

Усложнив переключатель дополнительными контактами, можно переключать и конденсаторы (штриховой линией показан только один — $C_{доп}$) и тем самым тоже грубо изменять частоту. Здесь роль потенциометров сведется только к плавной регулировке, что повысит стабильность работы. Тем же пере-

ключателем (точнее, вынесенной его секцией) можно коммутировать и цепи сигнальных лампочек. Грубая настройка («диапазон») будет отмечаться горением определенной лампочки, а точная — регистрироваться вольтметром V. Требование к последнему — возможно более наглядная шкала с точными делениями.

СОПРЯЖЕНИЕ НАСТРОЕК. УЧЕБНЫЙ ПРИЕМНИК

Сопряжение настройки контура гетеродина и контура ВЧ каскада (входной цепи смесителя или преобразователя) — вынужденный процесс, связанный с трудностями производства сдвоенных и строенных КПЕ с разными законами изменения емкостей конденсаторов секций. Производство КПЕ с одинаковыми конденсаторами проще. Но эта простота «оплачивается» определенными трудностями при настройке приемника. В диапазоне СВ (525—1605 кГц) перекрытие ВЧ контура по частоте равно 3,06 (1605/525). При этом, так как $f_{ПЧ}$ =const, а $f_{ПЧ} = f_{гет} - f_c$, частота гетеродина должна изменяться в границах от 525+465=990 кГц до 1605+465=2070 кГц, т. е. в 2,1 раза. Согласованное изменение настроек контуров, настроенных на f_c и $f_{гет}$ при управлении одной ручкой блока КПЕ, требует, чтобы законы изменения емкости контуров при одинаковом изменении емкостей секций КПЕ были различными.

Условно сведем все дополнительные емкости входного контура к емкости одного подстроечного конденсатора, например, $C_{доп}$=40 пФ. Тогда, для стандартного КПЕ (10—490 пФ) минимальную емкость контура $C_{мин}$ или начальную емкость $C_{нач}$ можно считать равной 50 пФ, а максимальную $C_{макс}$= =530 пФ. Определим произведения LC для границ СВ диапазона. Для этого на миллиметровой бумаге нанесем в декартовой системе оси частот и произведений LC и отложим ближайшие два — три известные из таблицы значения. Соединим их линией и найдем уточненное значение. Для 525 кГц LC близок к 92000, для 1605 кГц — к 9880. Соответственно LC для 990 и 2070 кГц составят 25800 и 5880. Разделим значения произведений LC на емкости $C_{мин}$ и $C_{макс}$, получим индуктивность $L_к$, удовлетворяющую двум частотным границам. Значение $L_к$ для ВЧ тракта оказывается равным 92000/530=174 мкГн или 9880/50=196 мкГн. Примем $L_к$=185 мкГн. Итак, параметры ВЧ контура рассчитаны.

На СВ частота гетеродина практически вдвое выше частоты сигнала ($f_{гет}$=990 кГц; f_c=525 кГц). Мы знаем, что для изменения частоты в два раза необходимо изменить LC в четыре раза. Для этого уменьшим $L_к$ контура гетеродина вдвое: 185/2=92,5 мкГн. Будем для начала считать, что $C_{макс}$ конденсатора гетеродина нужно тоже уменьшить вдвое: 530/2=265 пФ. Уточним параметры контура гетеродина, пользуясь уже установленными значениями LC (25800 и 5880). На низкочастотной границе диапазона катушка с индуктивностью $L_{к.гет}$=92,5 мкГн настраивается в резонанс на частоту 990 кГц конденсатором с емкостью $C_{макс}$=25800/92,5=280 пФ. Эта емкость близка к половине емкости секции КПЕ=530/2=265 пФ, а именно, отличается от нее на 15 пФ. Такое различие оправдано тем, что частота гетеродина $f_{гет}$ не равна строго удвоенной частоте сигнала на НЧ границе СВ диапазона.

На высокочастотной границе СВ диапазона катушка с индуктивностью 92,5 мкГн настраивается в резонанс конденсатором с емкостью $C_{мин}$= =5880/92,5=64 пФ. Мы приняли емкости $C_{доп}$=40 пФ, $C_{мин}$ КПЕ=10 пФ,

следовательно, параллельно катушке $L_к$ необходимо подключить дополнительно конденсатор ($C_{пар}$) с емкостью 14 пФ. Обычно для регулировки начальной емкости контура устанавливают полупеременный конденсатор с емкостью $C_{макс}=20—25$ пФ. Итак, необходимо, чтобы LC контур гетеродина удовлетворял последнему условию: настраивался на низшую частоту диапазона (990 кГц) такой же секцией КПЕ (10—490 пФ).

Выше было выяснено, что необходимая максимальная емкость должна быть равна 280 пФ. Остается «уменьшить» емкость КПЕ $C_{макс}=490$ пФ примерно до $280—40=240$ пФ с учетом влияния конденсатора $C_{доп}$, уже подключенного к катушке. Расчет емкости $C_{пос}$, последовательно присоединяемой **к конденсатору секции КПЕ, проводят по формуле** $C_{общ}=\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}$**. В нашем** случае $C_{общ}=240=\frac{490C_{пос}}{490+C_{пос}}$, что позволяет определить $C_{пос}$. Расчет показывает, что емкость $C_{пос}$ равна 480 пФ. Это последняя неизвестная величина. Графически сопряжение поясняется на рис. 47, *а*, на котором показано, что

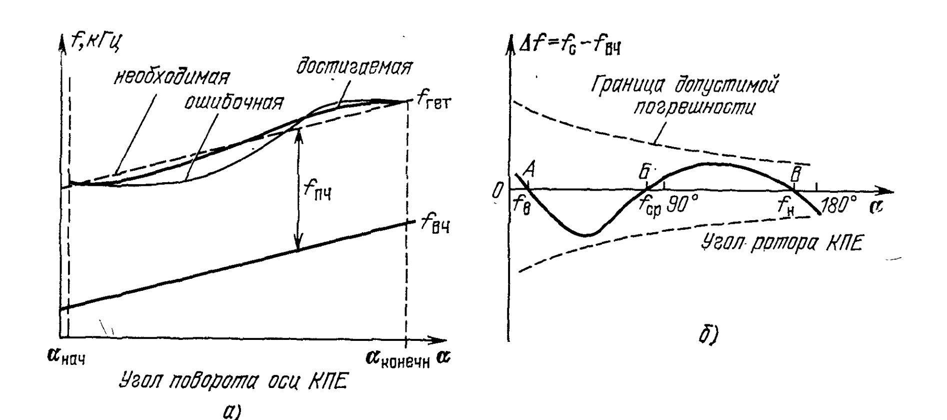


Рис. 47. Графики, поясняющие процесс сопряжения:
а — ошибки при сопряжении; *б* — график допустимых ошибок в зависимости от угла поворота ротора КПЕ

при повороте ротора КПЕ резонансные частоты ВЧ контура и контура гетеродина перестраиваются одновременно так, что разность частот ($f_{гет}$ — f_c) всегда близка к промежуточной частоте. Описанные рассуждения составляют суть практических операций по сопряжению настроек. Заметим, что результаты приближенного расчета, основанного на исходном допущении $f_{гет}\approx 2f_c$, близки к данным более строгих расчетов.

Последовательность операций при сопряжении контуров с КПЕ произвольного типа. Сопряжение начинают на низкочастотном конце диапазона при почти полностью введенном конденсаторе ($\alpha_{ротора}=175°—170°$). При этом емкость $C_к$ близка к максимальной. К катушке гетеродина $L_{гет}$ подносят контур волномера (LC головку УП). Подстроечным сердечником катушки $L_{гет}$ настраивают контур гетеродина на частоту 990 кГц. Далее устанавливают сердечником $L_{к\ вч}$ минимальную частоту настройки входного контура (525 кГц). Это можно сделать с помощью ГСС или головки частотомера.

В последнем случае выход УВЧ или смесителя связывают со входом (входной катушкой) конденсатором небольшой емкости. Резонансные системы УВЧ или смесителя возбуждаются на частотах настройки контура с переменным конденсатором в виде первой (или первой и второй) секции КПЕ. После уточнения проведенных подстроек ротор КПЕ поворачивают в положение, близкое начальному, в котором емкость почти минимальна ($\alpha_{ротора} \approx 5—8°$) с тем, чтобы при $C_{КПЕ} \cong C_{мин}$, в контуре действовала емкость, близкая к начальной. Проверяют частоту генерации гетеродина (2070 кГц) и частоту генерации (примерно равна f_c) возбужденного УВЧ, поочередно подключая к ним напряжение питания, так чтобы их колебания не влияли друг на друга. Уточняют частоты подстроечными конденсаторами контуров входной части и гетеродина, не трогая подстроечных сердечников (их положение временно фиксируют пластилином). Описанный способ сопряжения повторяют два — три раза. Его можно применить при настройке приемника (см. рис. 55), подстраивая конденсатор *C6* гетеродина и сердечник его катушки *L3*, а также подбирая емкость конденсатора *C5*.

Наибольшее распространение получил способ сопряжения, в котором используется УПЧ. После настройки УПЧ на частоту 465 кГц и обеспечения нужной ширины полосы пропускания фильтра, входную часть приемника настраивают по ГСС на частоту сигнала, равную (550—525) кГц. Частоту гетеродина изменяют подстроечным сердечником, контролируя ее частотомером; при этом контур последнего следует поднести к катушке *L3*, так чтобы сигнал на выходе УПЧ стал максимальным. Ротор КПЕ должен быть введен почти полностью. Входной контур подстраивают повторно подстроечным сердечником также по максимуму $U_{ПЧ}$. Выход детектора следует контролировать вспомогательным УНЧ малой мощности. Свисты и завывания, свидетельствующие о самовозбуждении ПЧ тракта, не должны прослушиваться. При их наличии несколько расстраивают контуры ФСС, что увеличивает полосу и снижает усиление УПЧ. Затем ротор КПЕ выводят ($\alpha \approx 8—5°$) и, пользуясь ГСС и частотомером, согласовывают работу контуров на максимальной частоте, поворачивая только подстроечные конденсаторы. При этом частота гетеродина должна быть близкой к 2070 кГц, а входной контур должен быть настроен по ГСС на 1605 кГц. Далее повторно проверяют настройку УПЧ и полосу пропускания и, если возможно, повышают усиление этого важнейшего узла. Такую операцию повторяют несколько раз.

Контур гетеродина всегда подстраивают на низшей частоте сердечником катушки *L3* (см. рис. 55), а на верхней — подстроечным конденсатором *C6*. Описанная последовательность операций обеспечивает точное сопряжение настроек контуров приемников в трех точках: в начале, в середине и конце диапазона. Для облегчения настройки дополнительно расширяют полосу входного контура, включая шунтирующий резистор *R*, с тем чтобы не только облегчить сопряжение, но и ослабить влияние различных нестабильностей.

Для снижения нежелательного просачивания напряжения гетеродина на вход УПЧ на выходе преобразователя простых транзисторных приемников (без ФСС) устанавливают низкоомный контур с емкостью $C_к$ до 2000 пФ и более. Усиление при этом понижается, как и в случае расширения полосы входного контура. По этой причине нельзя обеспечить высокую чувствительность и высокую избирательность простых устройств как по основному, так и по зеркальному каналам. Чем совершеннее ФСС, тем меньше паразитная наводка

напряжения гетеродина на вход первого активного элемента УПЧ. На рис. 47, *б* дана кривая допустимых ошибок сопряжения при настройке приемника в заводских условиях. Допуск увеличивается в зонах малого угла ротора КПЕ (на ВЧ краю диапазона) и зависит от точности выполнения сопряжения, предварительной подготовки КПЕ путем сближения величин емкостей секций, ширины полосы ПЧ и т. п., т. е. определяется классом приемника.

Настройка в заводских условиях проводится по точным приборам, поэтому сопряжение получается более точным. Допуск, который отражает возможное смещение частоты настройки входного контура, обычно менее 1/4 полосы пропускания УВЧ. В радиолюбительских условиях можно осуществлять сопряжение с точностью 1/4—1/2 полосы УВЧ, т. е. до ±5 кГц. Иногда для предварительной настройки емкостей секций КПЕ параллельно секции гетеродинного конденсатора подключают подстроечный конденсатор небольшой емкости $C_{кор}$, используемый как корректор. Его емкость при расчете не учитывается.

В процессе сопряжения необходимо запомнить, в какую сторону и на сколько оборотов ввинчивались сердечники и поворачивались подстроечные конденсаторы при повышении и понижении частоты. Если достигнуты крайние положения органов подстройки, например, подстроечные сердечники катушек полностью вывернуты, то индуктивность надо уменьшить. Лучше два — три раза удалять по два — три витка, нежели удалить сразу слишком много витков, а затем спаивать провод, наращивать его и доматывать катушку. Если достигнуто крайнее положение подстроечного конденсатора $C_{макс}$, то необходимо подпаять дополнительный конденсатор $C=5$—10 пФ. Если емкость конденсатора сопряжения $C_{пос}$ чрезмерно велика, то сопряжение может быть обеспечено только на НЧ границе. Желательно, используя ГСС и подключая один из контуров диапазона СВ поочередно к сециям КПЕ, проверить совпадение законов изменения емкости секций при повороте оси ротора.

Оценить правильность настройки можно и с помощью простого приспособления, которое легко изготовить из небольшого ВЧ ферритового стержня с диаметром 3—6 мм и небольшого алюминиевого или медного кольца, полого цилиндра. Их вставляют в противоположные концы бумажной трубки соответствующего диаметра, изготовленной из нескольких проклеенных слоев бумаги. Вводя концы трубки в катушку настраиваемого контура или близко поднося их к виткам, можно по реакции индикатора определить, подстраивается контур или расстраивается еще больше, т. е. выяснить, нужно увеличивать индуктивность испытываемого контура или уменьшить ее при сопряжении.

Внесение диамагнитного материала в поле катушки уменьшает ее индуктивность, а введение ферромагнитного — увеличивает. Уменьшить индуктивность катушки можно и с помощью короткозамкнутого витка. Если из провода ПЭЛШО диаметром 1,3—1,5 мм изготовить кольцо и одеть его поверх испытываемой КВ катушки, ее индуктивность понизится. Так можно установить наличие лишних витков. Этим же способом можно воспользоваться для того, чтобы не отматывать лишние витки, например, у катушек на фарфоровых каркасах. Для этого кольцо (после уточнения его положения) фиксируют на катушке лаком или клеем. Добротность Q несколько понижается за счет потерь в кольце, но в ряде случаев, как мы уже отмечали, это даже полезно.

В заключение опишем один из методов упрощенного расчета элементов сопряжения для диапазона СВ, основанный на использовании графиков для

определения необходимых величин. Перед расчетом необходимо задать: частоту $f_{ПЧ}$ (например, 465 кГц), диапазон рабочих частот (для СВ — 1605—525 кГц), емкость секций КПЕ (например, $C_{мин}=10$ пФ, $C_{макс}=490$ пФ), суммарное значение входящих в контур емкостей (40 пФ), а также по таблице произведений LC определить индуктивность $L_к$ для этого диапазона и максимальную емкость контура ВЧ, например, $L_к=180$ мкГ и $C_{макс}=490+$ $+40=530$ пФ.

Требуется определить емкости $C_{пар}$, $C_{пос}$ и коэффициент a уменьшения индуктивности катушки гетеродина. Воспользуемся графиками рис. 48—50. Последовательность расчета такова. Определяют среднюю частоту диапазона. В нашем случае $f_{ср}=(1605+525)/2=1065$ кГц. Предварительно рассчитав

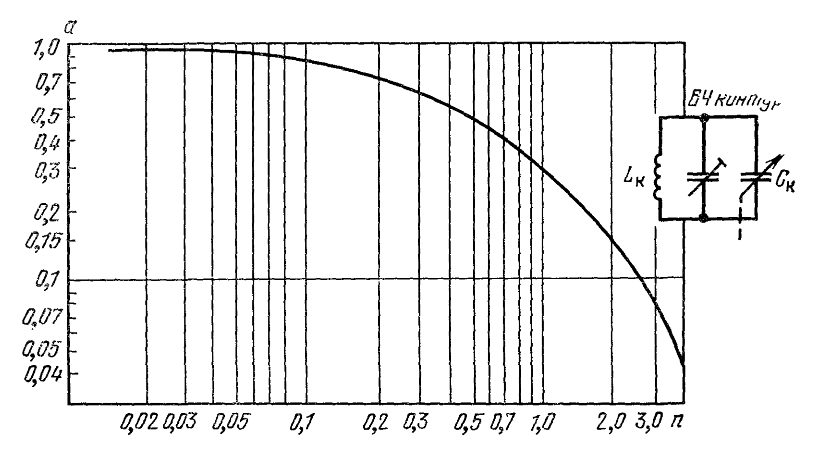


Рис. 48 График для определения коэффициента a

Рис. 49. График для определения емкости конденсатора $C_{пос}$

коэффициент $n = f_{ПЧ} / f_{ср} = 465/1065 = 0{,}43$, по первому графику вычисляют коэффициент $a = 0{,}52$. Индуктивность $L_{гет} = aL = 180 \cdot 0{,}52 = 93$ мкГн. Емкости $C_{пос}$ и $C_{пар}$ определяют по тому же коэффициенту n и емкости $C_{макс} = 490$ пФ. Получаем $C_{пос} \cong 500$ пФ, а $C_{пар} = 13$ пФ. Результаты расчета по графикам практически совпадают с данными, полученными простыми вычислениями. Величины C и L окончательно уточняют в процессе подстройки путем изменения положения пластин подстроечных конденсаторов и подстроечных сердечников катушек.

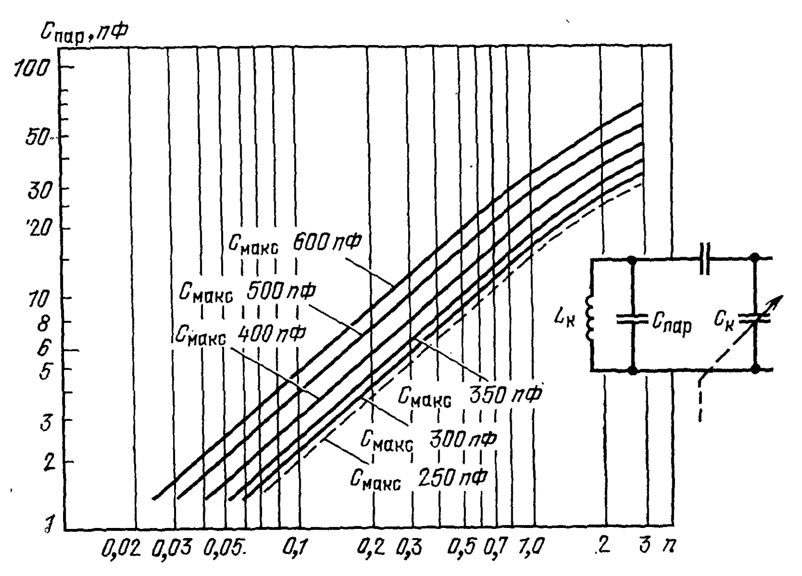


Рис. 50. График для определения емкости конденсатора $C_{пар}$

Сопряжение, особенно на первых порах, проводится с ошибками. Сказывается неверная градуировка приборов, внесение ими в контуры дополнительных емкостей, некоторое изменение полосы пропускания за счет неизбежной взаимной расстройки контуров. При наличии двух взаимосвязанных контуров в УПЧ, двухконтурной входной цепи и при сильной связи между контурами, например, частотная характеристика может иметь две вершины (см. рис. 31). Настройка на одну из них вызывает грубую ошибку сопряжения. Мешают сопряжению и различные нестабильности (например, $\Delta f_{гет}$ и, в меньшей степени, $\Delta U_{гет}$), а также наличие у гетеродина гармоник значительного уровня, плохая фильтрация ВЧ напряжений на входе УПЧ и т. д. Поэтому практически процесс сопряжения оказывается достаточно трудоемким.

Сопряжение контуров на стандартных деталях. Если в приемнике используют стандартный блок КПЕ (490—10 пФ) и стандартные катушки, например, заводского изготовления, а также известные конденсаторы сопряжения $C_{пос}$ и $C_{пар}$, то частоты точного сопряжения должны быть близки к значениям, указанным в табл. 11. Рассмотрим некоторые особенности сопряжения. Вначале, оставив запас по углу поворота ротора КПЕ (3—5°), укладывают диапазон ВЧ узлов, например, для СВ — 525—1605 кГц. Добиваются такого положения, чтобы генерируемые частоты гетеродина, измеряемые частотоме-

Таблица 11

Частоты точного сопряжения

Диапазон	Границы диапазона, кГц	Частоты, кГц		
		нижняя	средняя	верхняя
ДВ	150 — 408	167	279	391
СВ	525 — 1605	601	1065	1529
КВ	3950 — 12100	4485	8025	11565

ром, на этих границах были близки к 1066 и 1994 кГц и чтобы у органов подстройки контуров были определенные запасы по перестройке.

Для СВ диапазона сопряжения начинают на частоте 601 кГц. Эту частоту выставляют на ГСС, по ней настраивают ВЧ каскады и добиваются сопряжения по индикатору, включенному в выходной цепи детектора. Затем проводят сопряжение, используя сигнал ГСС с соответствующей модуляцией (обычно 1 кГц) и частотой 1529 кГц. В процессе сопряжения должно быть обеспечено и согласование на частоте $f_{ср}$. Частоту гетеродина и ВЧ контуров в небольших пределах регулируют органами подстройки. В остальных диапазонах учитывают другие данные о точных частотах сопряжения.

Механическая коррекция. Если связать ось блока КПЕ, одна из секций которого входит в состав гетеродина, с органом подстройки ВЧ контура (контуров) тонким тросом или системой рычагов, то неточность сопряжения можно автоматически исправлять. Легко видеть, что между углом поворота оси блока КПЕ α_1 и углом поворота органа подстройки α_2 или линейным перемещением подстраивающего сердечника некоторой катушки, должен устанавливаться преобразователь, согласующий необходимую степень коррекции в каждой точке шкалы. Эта коррекция будет различной для каждого из диапазонов. В простых приемниках на один диапазон преобразователь выполняют в виде кулачка переменного (подбираемого экспериментально) профиля, устанавливаемого на оси конденсатора гетеродина, а толкатель или поводок, соприкасающийся с кулачком, связывают с сердечником контурной катушки входной цепи преобразователя.

Учебный приемник. Рассмотрим способы, которые позволяют обойти трудности процесса сопряжения. Их два: первый сводится к снижению добротности ВЧ контуров (настройка осуществляется только перестройкой гетеродина), второй — к введению органов подстройки тех же ВЧ контуров для коррекции неточности сопряжения. Оба способа проще освоить при конструировании узлов для растянутых КВ диапазонов 49, 41, 31, 25 м и короче. Для этого целесообразно, например, выполнить несколько узлов ВЧ тракта, сконструировать, изготовить и тщательно настроить узел УПЧ и стабильно работающий автономный гетеродин.

Воспользуемся зависимостью $Q=f_c/\Pi_{(0,7)}$ и учтем данные табл. 1. Примем также полосу Π равной одному из растянутых диапазонов и определим минимальную добротность контура ВЧ тракта, при которой будет обеспечен прием всех сигналов в этой полосе при настройке ВЧ тракта на центральную частоту (с учетом ослабления крайних частот $f_{макс}$ и $f_{мин}$ в 1,4 раза). При добротностях $Q_{мин\,(41\,м)}=45$, $Q_{мин\,(31\,м)}=35$ и $Q_{мин\,(25\,м)}=30$ эти условия

выполняются, поэтому приемник может настраиваться только контуром гетеродина, с помощью автономного конденсатора.

Перестраиваемые контуры ВЧ тракта снабдим общим блоком КПЕ (сдвоенным или строенным) и переключателем, с малой емкостью между контактами, шунтирующими эти контуры дополнительными резисторами с числом пар контактов, равным числу секций КПЕ. Указанные резисторы соединим цепочкой по 2—3 шт. и выберем такие, чтобы собственные их емкости не сказывались на работе схемы, а добротности контуров (180—200 и более) или добротности в каскаде (100—80) снижались соответственно до необходимых значений (45, 35 и 30) при одновременном включении шунтирующих резисторов в соответствующих узлах и каскадах ВЧ тракта (входной цепи, УВЧ, смесителе).

Последовательность настройки на выбранную в одном из диапазонов станцию следующая. Переключатель добротности контуров ставят в положение $Q_{мин}$. Настройку ведут по шкале гетеродина (основной шкале выполняемого приемника). Так как станция принимается и при пониженной добротности ВЧ контуров, то точную настройку ВЧ тракта производят с помощью КПЕ по упрощенной вспомогательной шкале до получения максимума сигнала (по индикатору в цепи детектора). После настройки переключатель возвращают в исходное положение, что восстанавливает реальную добротность ВЧ контуров, повышает уровень принимаемых сигналов (действие АРУ при этом несколько понижает выходной сигнал), улучшает ослабление зеркального канала. Возможна также последующая подстройка ВЧ тракта для подавления помех. Она проводится доворотом ротора КПЕ ВЧ тракта при неизменном положении ручки перестройки гетеродина. По существу для каждой из станций проводят отдельное сопряжение, что исключает грубые ошибки при этой достаточно сложной операции. При последующей настройке на соседнюю станцию ВЧ узлы могут не подстраиваться, так как даже при добротности контуров в каскадах ВЧ, близкой к 80, и центральной частоте около 10 МГц в полосе пропускания ВЧ тракта (около 125 кГц) может размещаться несколько станций. Ротор КПЕ ВЧ контура или ось блока КПЕ ВЧ узлов доворачивают в нужную сторону, до получения максимального сигнала. Некоторый опыт работы позволит сказать, что при наличии подстройки можно обойтись и без переключателя и резисторов, шунтирующих контуры. Заметим, что устраняется не только проблема сопряжения. Резко упрощается и налаживание. Для налаживания достаточно убедиться, что ВЧ узлы перестраиваются примерно в том же диапазоне, что и собственный гетеродин. Это легко проверить, если временно подвести напряжение гетеродина ко входу ВЧ узлов. Так как частота сигнала значительно выше частоты фильтра УПЧ, максимальное напряжение ПЧ может быть получено незначительной подстройкой ВЧ узла при установке частоты гетеродина для приема некоторой станции и начальной установке органа настройки ВЧ узла близкой к той же частоте.

К недостатку описанного приемника относится увеличенное время настройки (двумя ручками) и дополнительный орган управления. К преимуществам — устранение сопрягающих конденсаторов, повышение помехозащищенности, о чем будет сказано ниже. Основное преимущество — возможность повышения класса приемника. Дело в том, что применение автономного гетеродина и ВЧ узла со сдвоенным блоком КПЕ означает реализацию приемника со строенным блоком КПЕ в обычной компоновке, поскольку третья секция общего блока

КПЕ всегда отводится для гетеродина. Это позволяет развить входную часть приемника, выполнить ее двухконтурной или использовать резонансный УВЧ, что позволит улучшить отстройку зеркальных помех.

Особенности конструирования учебного приемника СВ диапазона. В СВ диапазоне полоса пропускания даже при небольшой добротности контуров (около 40—30) значительно уже, поэтому описанный способ можно применить с оговоркой. Добротности следует понизить (до 10—15) или сузить участки растянутой настройки, например, выделить для них только часть диапазона. Эти участки можно также разделить на зоны и обозначить их на основной шкале (шкале гетеродина) различной краской. В каждой из зон можно применить описанный метод подстройки ВЧ тракта, для чего такими же цветами обозначают и зоны вспомогательной шкалы КПЕ ВЧ тракта. Для настройки приемника предварительно определяют зону нахождения стрелки на основной шкале и устанавливают стрелку вспомогательной шкалы в зону той же расцветки. Введение участков растянутой настройки, особенно в частях СВ диапазона с большим числом станций, повышение качества деталей схемы гетеродина и исключение конденсаторов сопряжения совместно повышают стабильность настройки. Заметим, что у некоторых современных приемников для осуществления полурастянутой настройки СВ диапазон разделяют на два поддиапазона: 1605—1000 кГц (или 1100 кГц) и 1000 (1100)—525 кГц.

Расположим на передней панели ВЧ тракта не одну шкалу настройки, как обычно, а две. Они могут быть круглыми, со стрелками и рисками через 10—25 кГц и полем для надписей при градуировке или линейными, например, одна под другой. Две ручки управления, механически связанные с блоками КПЕ или механизмами перемещения сердечников настройки и стрелками шкал, разместим на панели симметрично и так, чтобы их можно было удобно поворачивать как одной, так и двумя руками. Первый блок КПЕ (строенный или сдвоенный) будет перестраивать входной контур УВЧ и контур смесителя двухконтурную входную цепь. В первом случае ослабляется «просачивание» сигнала гетеродина в цепь антенны и улучшается подавление зеркальной помехи, во втором — только подавляется зеркальная помеха.

Вторую ручку свяжем со стрелкой второй шкалы и конденсатором гетеродина или сдвоенным блоком КПЕ стандартного типа. Выполнение автономного управления гетеродином также позволит получить некоторые преимущества. Секции КПЕ можно включать как параллельно, так и последовательно. Параллельное включение при использовании стандартных КПЕ с емкостью $C_{\text{макс}}=240$—260 пФ в каждой секции даст возможность настраивать LC контур гетеродина в ДВ диапазоне. Одна секция может использоваться в СВ диапазоне, а две последовательно ($C_{\text{макс}}=120$—130 пФ) в КВ и СВ диапазонах. Заметим, что минимальная емкость последовательно соединенных секций уменьшается, что увеличивает перекрытие и снижает минимальную начальную емкость контура $C_{\text{нач}}$. Пример выполнения контура генератора на двух последовательно соединенных конденсаторах уже рассматривался (см. рис. 44). Переключение диапазонов работы гетеродина сводится к коммутации конденсаторов секций и смене катушек, число которых уменьшается. Лучше применять одиночный конденсатор более высокого качества, с более жесткими пластинами, установленными на фарфоровых изоляторах на увеличенном расстоянии одна от другой. При доработке КПЕ для КВ диапазонов каждую пластину склеивают из двух стандартных. Контурную катушку гетеродина в лю-

бом КВ поддиапазоне наматывают на фарфоровом каркасе, устанавливают ее в экране увеличенных размеров. Иными словами, в автономном гетеродине используют более широкий набор высококачественных деталей, которые по тем или иным причинам не сопрягались по параметрам с другими стандартными деталями ВЧ тракта. Повышение качества работы гетеродина может быть дополнительно достигнуто и его лучшим расположением. При одноручечном управлении место узла гетеродина всегда определялось местом соответствующей секции КПЕ. Теперь он частично может быть размещен в подвале шасси, усиленно экранирован, что ослабит интенсивность его нежелательного воздействия на входные цепи, и даже снабжен тепловым экраном из пенопластовых пластин, соединенных с пластинами металлического экрана — для улучшения стабильности условий работы его катушек. При использовании сдвоенного КПЕ и усиленном экранировании, автономный гетеродин может быть выполнен двухтактным, что будет способствовать значительному понижению уровня четных гармоник и повышению помехозащищенности приемника. Заметим, что с этой же целью в гетеродинах профессиональных приемников устанавливают фильтры гармоник. Увеличение мощности гетеродина и регулировка амплитуды полезны при использовании его в качестве ГСС при работе на низкоомный аттенюатор.

Рассмотрим процесс настройки двухручечного СВ приемника (другими словами, приемника с раздельными настройками) на некоторую станцию $f_1(f_c)$. Известно, что настройка определяется текущим значением частоты гетеродина. Поэтому шкалу КПЕ контуров УВЧ, смесителя и входных цепей градуируют в значениях принимаемой частоты, а вторую шкалу (гетеродина) сдвигают в сторону более высоких частот на значение $f_{ПЧ}$. На этой шкале для некоторой частоты f_1 надпись «f_1» выполняют на частоте $(f_1+f_{ПЧ})$, для частоты f_2 надпись «f_2» — на частоте $(f_2+f_{ПЧ})$ и т. д. Тогда для приема станции с рабочей частотой f_1 на шкале гетеродина и на шкале ВЧ узлов нужно будет установить одно и то же значение. Так как частота гетеродина завышена на $f_{ПЧ}$, то в смесителе (или преобразователе) будет образована разностная частота $f_{ПЧ}=f_{гет}-f_c$ или, если $f_c=f_1$, $f_1+f_{ПЧ}-f_1=f_{ПЧ}$, т. е. необходимая промежуточная частота.

Конструкция рассматриваемого приемника несколько отличается от обычных конструкций заводского изготовления. После некоторого периода работы радиолюбитель осваивает вращение обеих ручек, обеспечивая необходимый темп перемещения каждой стрелки по соответствующей шкале в процессе перестройки на каждом из участков растянутого диапазона.

Настройка приемника обычного типа (например, I класса) сложна. В нашем же случае она распадается на ряд несложных операций. Налаживание гетеродина освоено при выполнении ВЧ генератора, приборов. Налаживание ВЧ тракта проводится с помощью УП, подсоединяемого ко входу смесителя.

Идентичные контуры с подстроечными конденсаторами и сердечниками настраиваются сердечниками на НЧ конце диапазона, а на ВЧ конце — подстроечными конденсаторами. Отгибанием и подгибанием разрезных пластин КПЕ подстраивают совпадение резонансов контуров в нескольких промежуточных положениях ротора.

Но это не все. Оказывается, что «двухручечный» приемник не только помогает практически изучить особенности сопряжения — он и более устойчив к воздействию помех.

На рис. 51, *а* и *б* графически показан случай неточного сопряжения при приеме обычным супергетеродином некоторой станции f_c в присутствии близкой по частоте мощной помехи $f_п$. Большая ошибка при сопряжении приводит к тому, что вместо точной настройки ВЧ тракта на частоту станции f_c настройка смещается. В зоне максимума всегда может оказаться нежелательная помеха, которая будет дополнительно подчеркиваться одновременно с ослаблением полезного сигнала. Поворачивая только одну ручку настройки ВЧ контуров, мы можем сместить на $\Delta f_{ВЧ}$ вершину резонансной характеристики так, чтобы сигнал был усилен, а помеха ослаблена. Ее частота будет находиться на скате резонансной характеристики. Как следует из рис. 51, при одноручечном управлении такой отстройки добиться невозможно. Кроме того, любые нестабильности, влияющие, например, на незначительную случайную расстройку контуров при нахождении частоты f_c в зоне максимума характеристики, не приведут к появлению дополнительных изменений интенсивности сигнала по сравнению с тем случаем, когда f_c находится на крутом скате характеристики.

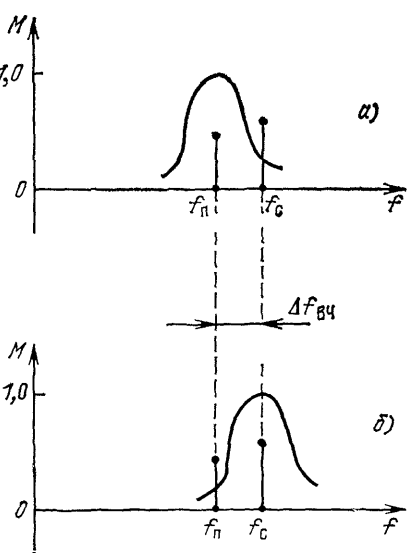


Рис. 51. График, поясняющий влияние сопряжения на помехозащищенность: *а* — настройка при неточном сопряжении; *б* — точная настройка

Гетеродин — ГСС. Для настройки других узлов используем автономный гетеродин. С этой целью выполним его съемным, а на передней панели приемника и части шасси предусмотрим экранированное гнездо, в которое он будет целиком вставляться, и отверстия для его шкалы и ручек управления: настройки, плавной подстройки и регулировки амплитуды (аттенюатора). Питание может подводиться через разъем, а в снятом положении — от батареи. Градуировку гетеродина производят в радиоклубе или мастерской по приборам или тщательно настроенному приемнику. На шкале отмечают истинные значения частоты (карандашом) и увеличенные на $f_{ПЧ}$ (тушью, краской). После установки проградуированного гетеродина в приемник цепь выхода смесителя временно отключают от УПЧ и к ней подключают ВЧ дроссель, который соединяют дополнительным конденсатором связи с цепью детектора (и индикатора настройки), АРУ временно отключают. Присоединяют выходную цепь аттенюатора гетеродина ко входу приемника и устанавливают напряжение сигнала таким, чтобы индикатор уверенно регистрировал точную настройку УВЧ. Теперь последним каскадом УВЧ будет смеситель, а сам УВЧ представляет собой приемник прямого усиления с одним или двумя усилительными каскадами. Конденсатор цепи связи смесителя с гетеродином отключается от гетеродина и заземляется так, чтобы не нарушать настройку смесителя. Так же поступают при отключении других блоков и при подключении к ним вспомогательных цепей. Необходимо прежде всего сохранять настройку важных узлов супергетеродина, не вносить в них «лишние» емкости. При настройке

лучше использовать стрелочный индикатор. На его шкале следует отметить уровень 0,707 от максимального отклонения и, пользуясь им, проверить отсутствие частотных искажений в УВЧ при перестройке гетеродина на ±10 кГц. В пределах такой полосы стрелка индикатора не должна опускаться ниже указанного уровня. В том случае, когда в цепи измерительного прибора можно установить последовательный резистор, увеличение времени запаздывания реакции на сигнал можно обеспечить шунтированием самого прибора конденсатором. В ряде случаев в качестве индикаторов настройки можно использовать схемы рис. 12, *а* и *б*.

При настройке на шкалу ВЧ тракта по точкам переносят карандашные записи истинных частот со шкалы гетеродина. После настройки ГСС гетеродин отключают от антенного входа. Карандашные записи сохраняют для последующих проверок.

Местный прием. Обратим внимание на то, что отключение гетеродина от смесителя и подключение смесителя к детектору или к УПЧ можно выполнять дополнительным переключателем с небольшой группой НЧ и ВЧ контактов, который можно назвать «местный прием — супер». Выход детектора связан с индикатором и УНЧ; цепь АРУ уже не работает, так как УПЧ отключен, а ее вывод к УВЧ можно также замкнуть. Таким образом, супергетеродин превращается в приставку для высококачественного местного приема. Полосу его частот легко расширить до 10—12,5 кГц шунтированием ВЧ контуров дополнительными резисторами с помощью того же переключателя (другими его контактами). На входе приемника можно предусмотреть включение магнитной антенны, что резко понизит чувствительность к помехам в виде различных паразитных сигналов. Полезно включить на входе и второй регулятор усиления для исключения перегрузки УВЧ. Описанные приемы полезно выполнять и при обычном налаживании сложного супергетеродина. Убедившись предварительно, что ВЧ тракт успешно работает как приемник прямого усиления, можно приступать к сопряжению, зная, что все ВЧ узлы исправны и налажены.

Использование гетеродина для настройки УПЧ. Подключим к выходной цепи гетеродина простой аттенюатор. Установим частоту гетеродина, равной $f_{ПЧ}$, и соединим аттенюатор со входом смесителя. Подберем амплитуду $U_{гет}$, необходимую для проверки УПЧ. Восстановим цепь детектора. Теперь, пользуясь индикатором и гетеродином (как ГСС), проверим и подстроим УПЧ. С помощью аттенюатора проверим работу цепи АРУ. При этом, разумеется, в гетеродине следует понизить рабочую частоту одного из контуров СВ диапазона или ввести в состав его контуров дополнительный контур, обеспечивающий генерацию на частотах 450—470 кГц. Автономный гетеродин позволяет провести ряд простых экспериментов с ВЧ и ПЧ узлами, выполнить их налаживание, подстройку, проверку и подбор активных элементов, используя во всех случаях градуировку истинных значений частот.

После всех проверок и подстроек установим гетеродин в его гнездо, восстановим нормальные связи узлов, к смесителю подведем от гетеродина необходимое напряжение с частотой конкретного диапазона, пользуясь шкалой, откорректированной на значения $f_{ПЧ}$. Узлы супергетеродина с двухручечным управлением настроены и готовы к работе. Карандашные отметки на шкале гетеродина можно удалить. Истинные частоты перенесены теперь на шкалу КПЕ ВЧ тракта.

Подстройка сопряжения. Если избежать неточностей при сопряжении невозможно, а вводить двухручечное управление нежелательно, то нельзя ли корректировать только саму неточность, не разделяя органы управления? Оказывается, можно. Действительно, ПЧ определяется только разностью частот двух передатчиков: мощного (станции) и микромощного (гетеродина). Если они строго постоянны, как и режим работы элементов приемника, то ошибки в сопряжении тоже постоянны. Выполним вторую ручку управления, но свяжем ее не с осью основного КПЕ, а с осью дополнительного одиночного или сдвоенного подстроечного КПЕ малой емкости. Этот конденсатор (или конденсаторы) присоединим параллельно конденсаторам ВЧ тракта, т. е. секциям основного КПЕ, одна из секций которого содержит конденсатор гетеродина. Управление, таким образом, сохраняется одноручечным. Но шкала должна быть несколько видоизменена. На ней отмечают частоты или длины волн станций, делают шкалу (100 делений) для удобства настройки и оставляют дополнительное свободное поле. На этом поле выполняют надписи поправок, необходимых для точного сопряжения узлов ВЧ тракта с гетеродином. На дополнительную ручку наносят шкалу с делениями (например, —5, —4, —3, —2, —1, 0, +1, +2, +3, +4, +5). Настраивать конденсаторы сопряжения нужно всегда при нулевом положении дополнительной ручки. При этом подстроечные конденсаторы (один при сдвоенном блоке КПЕ) должны занимать некоторое фиксированное среднее положение, их емкость (около 10—20 пФ) должна быть достаточна для ликвидации неточности настроек ВЧ контуров.

Положений точного сопряжения три: $f_н$, $f_{ср}$, $f_в$. Поэтому в них коррекция не нужна и ручка подстройки вблизи этих частот должна оставаться в нулевом положении. Для других частот необходимость коррекции емкости $C_к$ или индуктивности $L_к$ на соответствующие необходимые поправки $\pm\Delta C_к$ или $\pm\Delta L_к$ можно установить после обычного проведения сопряжения, которое осуществляется с внешним ГСС. Рассмотрим пример коррекции емкостей секций КПЕ ВЧ узлов. К антенному входу подводят напряжения сигналов с такими частотными интервалами, чтобы ротор КПЕ поворачивался ступенями на 10—15° в диапазоне всей перестройки. В каждой позиции точно настраивают приемник по его индикатору ручкой КПЕ, что приводит к перестройке гетеродина и ВЧ узлов. В каждой позиции тщательно уточняют настройку ВЧ узлов ручкой подстроечного конденсатора и запоминают показания на вспомогательной шкале этой ручки. На основную шкалу приемника наносят знак и величину, отсчитываемую со вспомогательной шкалы. Цифры поправок следуют одна за другой без скачков, так как кривая ошибок сопряжения плавная, а знак ошибки изменяется один раз, примерно в середине диапазона. Зоны максимальных ошибок (см. рис. 48) находятся обычно на участках, отстоящих на 1/3 от начала и конца основной шкалы.

При эксплуатации приемника настраивают его только одной ручкой, как обычно, иногда слегка доворачивая ручку корректора, если надписи на его шкале значительно расходятся с показаниями нужных поправок. Тем самым неточное сопряжение постоянно уточняется. Пользуются корректором и для лучшей отстройки от помехи. Недостаток способа заключается в необходимости, выполнения новой детали — подстроечного конденсатора, большей емкости C_0 ВЧ тракта по сравнению с C_0 ВЧ тракта с раздельной настройкой (с ВЧ КПЕ и автономным гетеродином). Преимущества — простота, бóльшая скорость настройки, возможность ослабления помехи. Хотя сдвоен-

ный механический корректор относительно несложен: его выполняют из двух секций на общей удлиненной оси из изолятора, однако его можно заменить электрическим. В этом случае конденсаторы коррекции выполняют на полупроводниковых кремниевых диодах типа Д901А или диодных матрицах типа ВС111, а орган управления ими — сдвоенный или одиночный потенциометр коррекции — выводят на переднюю панель, также отмечая знаками и цифрами положение ручки относительно среднего.

Наиболее наглядны линейные шкалы. Их легко выполнить для стандартного ползункового сдвоенного резистора. Удобна в приемнике и линейная шкала основной настройки. На ней в одну линию можно расположить цифры поправок, например, под цифрами основных частот настроек. Корректирующие емкости невелики, и полупроводниковые подстроечные элементы могут использоваться в сочетании с постоянными конденсаторами, чем обеспечивается повышение общей добротности емкостного корректора и высокая линейность участка $C=f(U_{упр})$.

Описанный приемник имеет еще одно преимущество — позволяет наглядно представить процессы сопряжения, достаточно сложные для восприятия. Действительно, после первых же пробных сопряжений настроек КПЕ со встроенным корректором можно проанализировать записанные поправки, их размер, знаки. Если сопряжение получилось точным, то поправки будут небольшими. Если требуется увеличить емкость конденсаторов коррекции сопряжения, то поправки велики, а, значит, сопряжение неточное. Стараясь уменьшить поправки, можно научиться тщательно сопрягать настройки. Пусть корректор для цели сопряжения станет излишним, однако накоплен полезный опыт сопряжения настроек супергетеродина. В таком случае оставим корректор для отстройки от помех. Хороший корректор сопряжения выполняется и по схеме индуктивной «растяжки» — с подстроечной индуктивностью, подключаемой к части витков основной катушки $L_к$. Но при этом для «спаренной» коррекции нужно объединять два подстроечных сердечника, например, встраивать их в общую трубку из изолятора, перемещаемую одновременно в двух катушках коррекции. По этой причине электрическое управление часто предпочтительнее, хотя оно и требует стабилизации источника питания $U_{упр}$.

Подстройка гетеродина. Эта подстройка ранее отвергалась, так как неизменная частота гетеродина в каждом положении ротора блока КПЕ позволяет сохранить неизменность настройки, а подстройка «сбивает» шкалу. Но ось подстроечного конденсатора (или резистора напряжения смещения полупроводникового диода) можно выполнить, как и ось описанного корректора сопряжения, с фиксатором некоторого среднего положения. Настройку приемника будем всегда вести при этом среднем положении корректора. Тем самым сохраним ее однозначность. Пользоваться же подстройкой будем для плавной настройки на станцию, компенсации ухода частоты гетеродина. При работе этого корректора можем считать, что принимаемая станция находится в границах полосы пропускания ВЧ тракта, а незначительная коррекция частоты $\Delta f_{гет}$ не нарушает уже установленного сопряжения настроек, т. е. не ведет к большой расстройке и полному пропаданию сигнала ПЧ. Указанное условие более просто достигается на диапазонах КВ, где даже контуры высокой добротности имеют полосы пропускания значительно более широкие, нежели полосы частот, занимаемые совместно несколькими отдельными передающими станциями. Это обстоятельство позволяет выполнить в КВ диапазонах фикси-

рованную настройку. Заметим, что корректор гетеродина можно также выполнить в виде дополнительной (подстроечной) катушки индуктивности с фиксируемым положением сердечника.

Фиксированная настройка. При осуществлении фиксированной настройки все необходимые контуры ВЧ тракта и гетеродина настраиваются на частоты нескольких специально выбранных станций. Фактически выполняется приемник с раздельной настройкой. Настройка на выбранные в СВ или КВ (от 100 до 50 м) станции может осуществляться разными методами. Согласно одному из них в каждом ВЧ узле и гетеродине устанавливают не один контур (перестраиваемый с помощью КПЕ), а группу идентичных контуров. Их коммутируют общим для всех каскадов секционированным переключателем, входящим в узлы ВЧ каскадов и гетеродин, а каждый контур настраивают на нужную частоту.

В простых случаях в каждом узле к одной катушке подключают поочередно различные подстроечные конденсаторы или коммутируют число витков катушек и подстроечные конденсаторы одновременно. Известны приемники, в которых имеется механизм ввода в катушки сердечников (настройка выполняется регулированием глубины их введения). Чем короче принимаемая волна, тем шире полоса ВЧ узлов, поэтому указанные способы видоизменяются: входные контуры и контуры ВЧ тракта могут настраиваться на середину некоторого участка частот, а контур гетеродина снабжаться подстроечным конденсатором с ручкой управления. С помощью этой ручки проводится плавная настройка уже на несколько станций. Одновременно следует повышать требования к стабильности гетеродина и к качеству выполнения УПЧ, так как при увеличении полосы входных узлов облегчается настройка, но тем больше помех проникает в приемник, поскольку предварительная селекция ухудшается. Во многом смена фиксированных настроек обычно копирует принцип смены диапазонов. Ранее мы установили, что настройка каждого диапазона упрощается при его автономном исполнении. Действительно, специализация ВЧ узлов облегчает борьбу с самовозбуждением, упрощает процессы укладки диапазонов, сопряжения. На первых порах такие конструкции облегчают работу, но после приобретения опыта конструирования следует переходить к многодиапазонным приемникам.

Упрощение ВЧ узлов и гетеродина. В многодиапазонных приемниках ВЧ узлы усложняются за счет плат с многочисленными контурными катушками, громоздких переключателей с множеством контактов. Для их сокращения переходят к барабанным конструкциям переключателей диапазонов, что также приводит к усложнению ВЧ узлов. В учебных приемниках с автономным гетеродином можно использовать контуры с одновременной перестройкой индуктивности и емкости в широкой полосе частот (рис. 52). Для чего в гетеродине ось КПЕ можно связать с осью миниатюрного вариометра так, чтобы при повороте общей оси изменялась и емкость, и положение роторной катушки вариометра. Это обеспечит глубокое изменение произведения LC и достаточное постоянство Q, необходимое при перестройке гетеродина. Если в схеме гетеродина при этом сохранить упрощенный переключатель с малым числом контактов для коммутации числа витков катушки, то можно сократить и длину соединительных проводников. В каскадах ВЧ тракта положение осложняется тем, что ось КПЕ необходимо связать с двумя — тремя вариометрами. Поэтому предпочтительнее устройства, связывающие поворот оси КПЕ с при-

водами ввода и вывода сердечников из катушек. Их недостатками являются: повышенная сложность, малая вибростойкость, возможность нарушения градуировки шкал при смещении сердечников. По указанным причинам желательно исключить механическое перемещение деталей катушки или, во всяком случае, использовать его только при необходимости, например, при выполнении электромеханической перестройки.

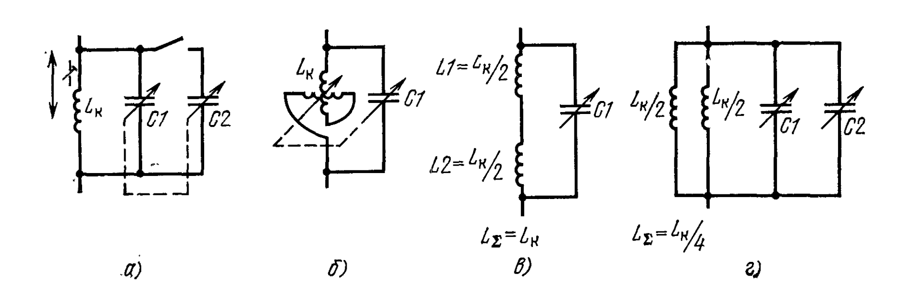


Рис. 52. Схемы контуров с увеличенным диапазоном перестройки:
а — контур с дополнительным переменным конденсатором, переключателем и вдвигающимся в катушку сердечником; *б* — контур на основе малогабаритного вариометра; *в*, *г* — контуры с одинаковыми катушками, соединяемыми параллельно и последовательно

Перечисленные недостатки в значительной степени устраняются в приемниках с доработанными КПЕ (путем образования двух конденсаторов в каждой секции блока) и двумя катушками *L1* и *L2*, которые могут соединяться последовательно $L_\Sigma = L1 + L2$ или параллельно $L_\Sigma = L1L2/(L1+L2)$. Каждая из катушек работает совместно или с соответствующим конденсатором секции или частью пакета пластин статора. Некоторые примеры соединений показаны на рис. 52,*а*, *в*, *г*. На шкале соответствующего блока КПЕ необходимо предусмотреть соответствующее число «дорожек» с градуировкой.

Простые расчеты показывают, что если при переключении суммарная индуктивность изменяется в 3—5 раз, а перекрытие конденсатора равно 20—25 (что достижимо при коммутации или специальной подгонке формы пластин), то произведение *LC* может изменяться более чем в 100 раз. Такой контур может перестраиваться в диапазоне волн от 10 до 100 м даже без помощи регулируемых сердечников. Но столь большое перекрытие оказывается излишним, так как диапазоны, интересующие радиолюбителей, перемежаются частотными интервалами, не занятыми любительскими или радиовещательными станциями. Поэтому отношение *L1*/*L2* может быть выбрано равным двум, один из переменных конденсаторов выбран с $C_{макс}$=50—75 пФ, а другой — с $C_{макс}$=200—250 пФ (преимущественно для двух поддиапазонов СВ и «низкочастотных» КВ диапазонов). Нетрудно понять, что для сокращения числа контактов и упрощения многодиапазонных приемников полезным оказывается и разделение общего переключателя диапазонов на два частных, один из которых выделяется специально для гетеродина. Общее число ВЧ контактов удается сократить в 2—3 раза. Заметим, что некоторая часть из них может быть заменена герметичными (герконами) — весьма компактными, долговечными устройствами с емкостью между смыкающимися пластинами менее 1 пФ.

Дополнительное расширение возможностей схем обеспечивается использованием управляемых полупроводниковых конденсаторов и диодных матриц.

Полупроводниковые конденсаторы. Варианты устройств управления. Конденсаторы на основе управляемого перехода имеют невысокую добротность, но при работе в сочетании с обычными конденсаторами и с КПЕ, особенно когда используется не вся характеристика $C=f(U_{упр})$, а только небольшой ее участок, они оказываются весьма полезными. Приемы управления емкостью легко сочетаются с уже описанными приемами, так как в «программу» подстройки можно включить положение ручек управляющих потенциометров.

Некоторые возможности открывают и методы электромеханического управления контурами, сердечники которых выполняют подвижными и связывают с небольшим магнитом-стержнем с помощью удлиненных тяг из диэлектрика. Магнит размещают в трубке с внешней обмоткой. Подавая напряжение на эту обмотку — соленоид, можно вытолкнуть стержень магнита из трубки или втянуть в нее так же, как и сердечник из соответствующей катушки. Те же магниты можно связать с герконами, коммутаторами сигнальных лампочек, светодиодами или иными сигнализаторами для контроля их положения. Управление органами подстройки может, таким образом, стать механическим, электромеханическим или чисто электрическим.

Вместо механического объединения осей подстроечных конденсаторов (КПЕ) вариометров или переключателей катушек в каждый ВЧ каскад целесообразно ввести несколько проводников управления. При этом конструкция собственно механических узлов управления приемником сильно упрощается, может измениться даже вид шкалы: она приобретет черты пульта управления. Недостаток таких конструкций — низкая вибростойкость.

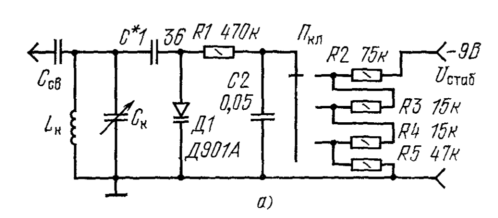
Один из вариантов схемы управления емкостью полупроводникового конденсатора показан на рис. 53, *а*. Левая часть схемы — контур с переменным конденсатором (секция блока КПЕ, например, гетеродина). Справа — устройство для подачи напряжения смещения на диод. Число контактов в переключателе $П_{кл}$ (НЧ типа) может быть увеличено; для плавной регулировки переключатель заменяют на переменный резистор $R=50$ кОм.

Устройство можно использовать как корректор частоты гетеродина, для подстройки КВ контуров и т. п. В том случае, когда конденсатор $C_к$, входящий в контур, имеет постоянное значение емкости, границы перестройки емкости варикапа увеличиваются. Поэтому для повышения стабильности работы желательно в качестве контурного конденсатора применять КПЕ с воздушным диэлектриком, а емкость перехода использовать только как подстроечную. Отметим, что схема рис. 53, *а* подобна схеме растягивания диапазонов или схеме сопряжения. Чем меньше емкость варикапа, тем у́же диапазон перестройки, но тем больше общая добротность контура, так как наименьшей добротностью обладает конденсатор на основе диода, а наибольшей — КПЕ.

Связав ось переменного конденсатора $C_к$ с фиксатором положений, например, с осью галетного переключателя и заменив резистор $R5$ на переменный, можно осуществить схему смены КВ диапазонов. Грубую настройку на середину выбранного диапазона производят ступенчатым изменением положения ротора $C_к$. При этом может несколько измениться и напряжение на варикапе, которое определяется резисторами делителя напряжения, коммутируемыми тем же переключателем. Уточнение настройки осуществляется переменным резистором. Напряжение на варикапе измеряется вольтметром, шкала

которого превращается в шкалу настройки в выбранном диапазоне или шкалу подстройки (поправки).

В КВ диапазонах нужно небольшое изменение емкости контуров: они перестраиваются в границах 1—2 м в диапазонах 31, 25 м и более коротких. В связи с этим изменение емкости перехода может быть небольшим, что повышает стабильность всего устройства. Сопротивление резистора *R1* выбирают достаточно большим для уменьшения шунтирования контура. На рис. 53,*б* пока-



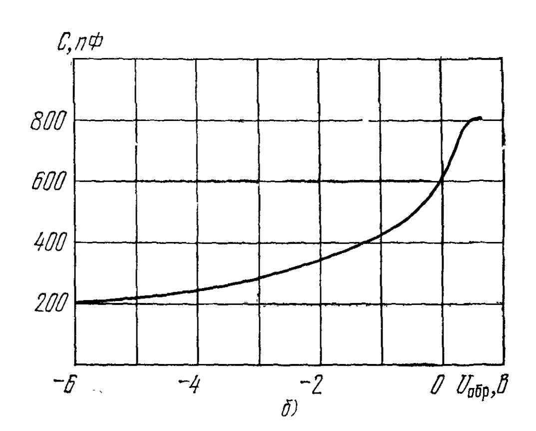


Рис. 53. Полупроводниковый конденсатор настройки (или подстройки):
а — схема на основе специального диода; *б* — график зависимости емкости перехода стабилитрона Д808 от обратного напряжения

зана кривая зависимости емкости перехода стабилитрона Д808 от обратного напряжения. Такой стабилитрон может также использоваться для перестройки контуров. Так как его емкость значительна, то стабилитрон можно применить для подстройки ВЧ контуров СВ и ДВ диапазонов. Желательно не только использовать пологую часть характеристики, но и применять последовательный конденсатор *C1* с емкостью в несколько десятков пикофарад. Если механизм переключателя связать с устройством механического перемещения сердечника контура, который позволит изменить индуктивность катушки в 3—4 раза, то подобная схема управления может использоваться для перекрытия всех КВ от 75,5 до 24,8 м. Это потребует изменения произведения *LC* от 1580 до 176.

Схема механизма для настройки контура в широкой полосе частот приведена на рис. 54. В состав контура, катушка которого дана в разрезе, входит конденсатор переменной емкости в виде секции блока КПЕ (на рис. не показан) и переключатель. Для подключения к катушке дополнительного конденсатора (второй секции доработанного КПЕ) необходимо обеспечить достаточный для перемещения замыкающей пластинки переключателя ход *а*, например на ширину двух или трех расстояний между неподвижными контактами. Когда ход кнопки равен *а*, то длины плеч рычага должны подчиняться выражению $a/l_1=б/(l_1+l_2)=в/(l_1+l_2+l_3)$. При конструировании подбирается либо ход сердечника *в*, либо длина обмотки *l* на каркасе катушки так, чтобы при ходе *в* сердечник из ВЧ материала вводился при нажатии кнопки в среднюю часть витков. Если при вводе сердечника индуктивность катушки увеличивается в 3—4 раза, а перекрытие конденсаторов равно 8—10 и после коммутации дополнительной секции $C_{макс}$ увеличивается вдвое, то нажатием кнопки можно изменять диапазон настройки в достаточно широких пределах.

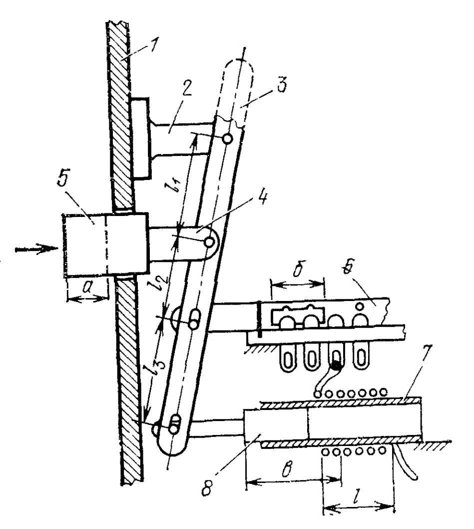


Рис. 54. Схема электромеханического управления элементами контура:
1 — лицевая панель приемника; *2* — кронштейн; *3* — рычаг; *4* — толкатель кнопки; *5* — кнопка; *6* — переключатель ползункового типа; *7* — каркас катушки; *8* — сердечник

Заметим, что каркас катушки изготовляют точно по размеру сердечника, или внутрь его вклеивают узкую полоску прочной и тонкой ленты с тем, чтобы сердечник плотно входил в катушку и не смещался при легких толчках. Рычаг может быть подпружинен, снабжен контактами на верхнем конце для взаимодействия с ответными контактами, включенными в цепь индикаторных лампочек, или связан с другим рычагом. Желательно выполнять КПЕ гетеродина с корректором. При таком варианте выполнения грубая установка частоты гетеродина может производиться кнопкой, вдвигающей сердечник, а точная — корректором. Реализация различных устройств с клавишным управлением обязательно должна сопровождаться повышением стабильности работы гетеродина.

УСИЛИТЕЛИ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

Успешное практическое освоение различных конструкций приемников и качество их работы во многом зависят от навыков, полученных при выполнении УПЧ. На первый взгляд, изготовить УПЧ проще, чем УВЧ, поскольку рабочая частота постоянна и ниже частоты сигнала. Это было бы справедливо в случае, если бы усиления УПЧ и УВЧ были равны (единицы и десятки). Но усиление УПЧ примерно в 1000 раз больше и составляет тысячи и десятки ты-

сяч. К детектору простейших приемников подводят напряжение примерно 0,05—0,1 В. Для более совершенных детекторов этого недостаточно, поэтому для улучшения работы детектора и повышения качества звучания напряжение повышают до 0,5 В и более. Даже в простейшем супергетеродине с одноконтурной входной цепью, преобразователем на одном и УПЧ на двух биполярных транзисторах усиление обычно составляет (2,5—3)·10^3. Если учесть, что резонансные контуры сильно шунтируются входными сопротивлениями транзисторов или работают с катушками связи, снижающими напряжение в 6—18 раз, а преобразователь не обеспечивает усиления более чем 10—15 раз, то можно заключить, что основное усиление должен развивать УПЧ. Чувствительность приемника с повышенными параметрами желательно поднять до 150—100 мкВ, поэтому с учетом запаса на обеспечение полосы, компенсацию потерь в ФСС и трансформаторах УПЧ, работу АРУ общее усиление необходимо научиться доводить до (3—5)·10^3 и более. В простейших приемниках УПЧ имеют малое усиление, их чувствительность к помехам по ПЧ мала. Заметим, что в процессе детектирования наблюдается подавление относительно слабых помех сильными сигналами мощных станций.

Выполнение УПЧ с заданным усилением, полосой и затуханием вне его тем сложнее, чем выше эти параметры. Реализация большого усиления требует мер по повышению стабильности и устойчивости работы УПЧ. Повышение селективности требует улучшения качества фильтров, что также требует запаса усиления, борьбы с шумами. Основная трудность — необходимость реализации хорошей развязки выходных цепей УПЧ от входных для того, чтобы выходное напряжение не могло воздействовать на входные цепи. Чем выше усиление и несовершеннее экранировка, тем чувствительнее УПЧ к различным наводкам, особенно со стороны выходных цепей, тем труднее обеспечить стабильность его работы, исключить возможность самовозбуждения. Часть сигнала, усиленного УПЧ, попадает в цепи питания: в преобразователь, на выход детектора и в цепи АРУ, и уже через эти узлы — в каскады УПЧ. Но тут возникает ряд сложностей. Чем совершеннее фильтры в цепях питания транзисторов, тем выше потери мощности; чем совершеннее экранировка, тем сложнее приемник; чем лучше фильтры ПЧ, сложнее цепи на входе УВЧ, в цепи АРУ и т. п., тем больше потери сигнала в этих цепях, потери питающего и управляющего напряжений.

Трудности при реализации высокого усиления возникают и из-за несовершенства активных элементов — наличия у них обратной проходной проводимости, главным образом за счет емкости, связывающей входную и выходную цепи. Поэтому при конструировании УПЧ стараются ослабить действие этой связи. К ним относятся: использование полевых транзисторов, применение каскодных схем на полевых и биполярных транзисторах, применение последовательно включенных двух-трех биполярных транзисторов и цепей нейтрализации проходной емкости. Последний метод усложняет настройку УПЧ, поэтому его обычно используют в заводских условиях при регулировке по приборам с визуальной оценкой характеристик УПЧ. Этот метод широко применялся в приемниках устаревших типов, а также в портативных приемниках с малым числом биполярных транзисторов. Заметим, что такие простые меры, как правильное размещение деталей УПЧ, улучшение экранировки, ликвидация грубых ошибок при монтаже, выбор режима, подбор транзисторов способствуют той же цели — повышению стабильного усиления УПЧ. Качество работы приемни-

ка во многом зависит и от работы цепи АРУ, которая охватывает прежде всего УПЧ.

Цепи АРУ транзисторных приемников. Основное назначение — поддержание постоянного уровня выходного сигнала при значительных изменениях входного сигнала U_c. По требованиям ГОСТа для приемников I класса изменение уровня U_c на 40 дБ (в 100 раз) должно сопровождаться изменением выходного напряжения не более чем на 12 дБ (в 4 раза). Общее требование к АРУ может быть разделено на два частных, сводящихся к требованиям к АРУ в части УПЧ — основного усилителя и в части УВЧ.

Рассмотрим перегрузку УПЧ. Она автоматически означает перегрузку и детектора, и УНЧ, резкое возрастание уровня искажений звука. Необходимость АРУ можно обосновать следующими простыми рассуждениями. Супергетеродинный приемник имеет большое усиление, а входной сигнал имеет большой динамический диапазон. Представим себе, что возрастающий сигнал на входе УПЧ достигнет уровня в 10 мВ, а усиление УПЧ без цепи АРУ составляет всего 2000. Легко представить себе, каковы при этом будут перегрузки УНЧ, если усиление последнего составляет также несколько десятков раз. Сигнал от внешних, даже относительно несовершенных антенн с действующей высотой в несколько метров, изменяется от нескольких микровольт до десятков милливольт. Поэтому второй частной задачей АРУ является поддержание постоянным уровня сигнала на входе первого активного элемента, особенно, если этот элемент — преобразователь на биполярных транзисторах.

Рассмотрим работу такого преобразователя при изменении уровня сигнала. Как уже отмечалось, коэффициент передачи по току $h_{21э}$ биполярного транзистора выбирают достаточно высоким, чтобы иметь большую крутизну преобразования. Искажения при преобразовании невелики до тех пор, пока напряжение сигнала значительно меньше напряжения гетеродина $U_{гет} \geqslant 100 U_{c\ макс}$. Для преобразователя на биполярных транзисторах значительный рост искажений происходит при уровне сигнала выше 5 мВ. Для выравнивания сигналов на входе преобразователя и исключения его перегрузки используют каскад УВЧ, к цепи управления которого подводится напряжение АРУ. Усилитель высокой частоты с автоматически регулируемым усилением не только выравнивает уровни сигналов на входе преобразователя, но и облегчает регулировку сигнала в УПЧ, так как динамический диапазон сигнала на входе УПЧ также уменьшается. Напряжение АРУ может быть подведено не только к УВЧ, но и к активному элементу, встроенному во входную цепь, например, истоковому повторителю, а также к управляемому аттенюатору на полевых транзисторах или диодах, установленному на входе приемника.

Действие АРУ на УПЧ и УВЧ должно быть различным. Дело в том, что для сохранения высокой чувствительности приемника действие АРУ несколько «задерживают», например, подачей смещения на диод АРУ для того, чтобы слабые входные сигналы, соизмеримые по уровню и уровня несколько выше реальной чувствительности, не приводили АРУ в действие. При более сильных сигналах на входе цепь АРУ начинает действовать, одновременно понижая усиление УПЧ и УВЧ. В более совершенных приемниках, имеющих УВЧ, напряжение АРУ вначале автоматически (делителями напряжения) вводится только в УПЧ для исключения перегрузки детектора, а затем (при дальнейшем росте уровня сигнала) — в УВЧ, что способствует исключению перегрузки входных каскадов. Выполнение ВЧ тракта супергетеродина на полевых

транзисторах делает его менее чувствительным к перегрузкам. И УВЧ, и смеситель на полевых транзисторах могут работать с меньшими искажениями при большем уровне сигналов, нежели аналогичные узлы на биполярных транзисторах.

Использование полевых транзисторов позволяет повысить и сопротивление нагрузки детектора, что повышает его входное сопротивление, так как цепи управления полевыми транзисторами могут выполняться на высокоомных резисторах. Для улучшения эффективности действия АРУ в ВЧ каскадах с полевыми транзисторами и одновременного повышения их коэффициента усиления часто используют составные транзисторы, сопряженные с биполярными, обеспечивающие высокую крутизну такого комбинированного активного элемента и понижение выходного сопротивления.

Конструирование УПЧ. Если конструирование УВЧ освоено, то выполнение УПЧ упрощается за счет полученного опыта. И в УВЧ, и в УПЧ применяют резонансные усилители. Разница в типе, граничной частоте, коэффициенте передачи активного элемента и полосе пропускания каскада. Если в УВЧ незначительное расширение полосы компенсировало неточности настройки контуров усилительных каскадов, то в УПЧ такое расширение вредно, поскольку при этом существенно ухудшится селективность по соседнему каналу. Важны и специальные требования к форме характеристики фильтра УПЧ. Этот узел должен обеспечивать практически симметричную характеристику с плоской вершиной и крутыми скатами, форма которой должна быть по возможности более стабильной, не изменяться при действии АРУ. Для получения высокой селективности при значительных расстройках необходимо использование группы таких контуров. Вершина характеристики в полосе пропускания при малом числе контуров в группе получается чрезмерно узкой и неравномерной. Необходимо увеличить число контуров высокого качества, совместно формирующих характеристику фильтра (только в ФСС или в ФСС и отдельных контурах последующих каскадов УПЧ), а также в сочетании обычных контуров и фильтра на пьезоэлементах. В каждом конкретном случае наблюдаются некоторые различия и в методах включения активного элемента. Значительное усиление накладывает на применяемый тип активного элемента требование минимальной проходной емкости.

Рассмотрим некоторые схемы УПЧ в порядке возрастания их сложности. Простейшие, разработанные для массовых приемников невысоких классов, имеют апериодические широкополосные УПЧ. Селективность их обеспечивается ФСС, а отсутствие резонансных нагрузок и малое усиление в каждом каскаде (30—40) уменьшают возможность потери устойчивости. Для повышения усиления в двухкаскадных УПЧ часто устанавливают контур с катушкой связи или автотрансформатор в последнем каскаде, что повышает его собственное усиление до 60—80 при полосе пропускания 30—35 кГц. Дальнейшее повышение усиления этого каскада возможно путем введения цепи нейтрализации. Работу схемы УПЧ рассмотрим на примере относительно широкополосного УПЧ простейшего приемника для приема мощных станций. Собственно приемная часть (рис. 55) содержит два транзистора и диод, но она имеет все основные узлы супергетеродина, причем большая часть ее элементов относится к УПЧ, цепям детектора и АРУ. Подобные схемы разработаны для портативных конструкций и работают на биполярных транзисторах следующих типов:

П401—П403, П416, П422 или ГТ308, ГТ309. Для получения максимального усиления при преобразовании Т1 выбирается с большим коэффициентом передачи по току и включается по схеме с общим эмиттером. Входной контур выполняют на ферритовом стержне антенны, катушка связи имеет 5—10 витков. **Как и контур гетеродина**, он перестраивается сдвоенным КПЕ. Гетеродин

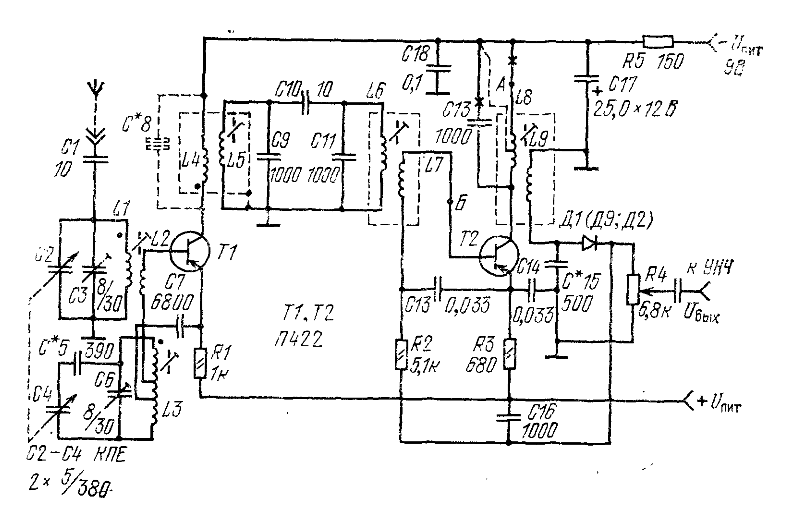


Рис. 55. **Принципиальная схема простейшего супергетеродина на биполярных транзисторах**

включен по схеме с общим коллектором, катушка связи отсутствует, а числа витков отводов устанавливают при подборе напряжения $U_{гет}$ в процессе налаживания преобразователя.

Рассмотрим проблемы развязки, возникающие в такой схеме. Напряжение гетеродина поступает на вход ФСС, но два его контура сильно расстроены по отношению к частоте гетеродина, имеют конденсаторы большой емкости и незначительное сопротивление на $f_{гет}$. В антенный контур, который также расстроен по отношению к частоте $f_{гет}$, поступает ослабленное напряжение $U_{гет}$ за счет действия катушки связи *L2*. На входе приемника поэтому отсутствует фильтр-пробка. Просачивающиеся на вход УНЧ и цепи АРУ помехи с частотой $f_{ПЧ}$ незначительны, а так как усиление УПЧ мало, их действие ослабляется.

В приемнике применен упрощенный ФСС с двумя контурами. Третий контур — в цепи детектора. Все контуры содержат катушки связи, согласующие сопротивления активных элементов с их эквивалентными сопротивлениями. В подобных конструкциях катушку *L8* иногда выполняют с отводом от 1/3 или половины витков. Отвод присоединяют к шине питания, а вывод конденсатора отсоединяют от этой шины и присоединяют к точке *А*. Такое включение уменьшает шунтирование контура выходным сопротивлением биполярного транзистора (оно относительно невелико). От этого же отвода можно выполнить и цепь нейтрализации. Через конденсатор малой емкости отвод (его отсоединяют от общей шины) соединяют с точкой *Б*, что обеспечивает ввод в цепь базы противофазного напряжения, компенсирующего действие проходной емкости биполярного транзистора. Коэффициент устойчивого усиления увеличивается.

Чем лучше фильтрация напряжения АРУ, больше ослабление остаточного напряжения ПЧ на входе нагрузочного резистора детектора, тем меньше опасность самовозбуждения УПЧ через цепь АРУ. Заметим, что подобная опасность тем больше, чем выше усиление УПЧ.

Рассмотрим особенности конструкции. Контурные катушки *L3* и *L1* (в случае работы приемника без ферритовой антенны) наматывают на трех-четырех секционных пластмассовых унифицированных каркасах с ферритовыми подстроечными сердечниками (Ф600) диаметром 3 мм. Индуктивность *L1* близка к 180 мкГн. Важно контролировать добротность входного контура *L1C2* для снижения частотных искажений, и особенно, контура с катушкой на основе ферритового антенного стержня. Добротность его можно повысить при выполнении приемника только для работы на ВЧ конце СВ диапазона. Катушка *L1* содержит 3×25 витков ЛЭ 3×0,06; *L2* — 6—8 витков ПЭ 0,1; *L3* — (2+4+60) витков ЛЭ 5×0,06 (отводы считают от конца обмотки; начало обозначено точкой). Фильтр ПЧ выполнен на контурных катушках от приемников типов «Селга», «Сокол» или «Чайка» с небольшими отклонениями. Число витков катушек *L5*, *L6* и *L8* — 70, а у катушек связи *L4* и *L9* — 50. Катушка *L7* содержит семь витков. Все катушки связи наматываются проводом ПЭ 0,1, а контурные — проводом ЛЭ 2×0,06 или ЛЭ 3×0,06. Катушки располагают в броневых сердечниках (Ф600) с подстроечными стержнями, а после этого их экранируют.

Напряжение АРУ снимается с нагрузочного резистора детектора, поэтому конденсатор *C16* играет двоякую роль: входит в фильтр АРУ и блокирует резистор *R4* по напряжению ПЧ. Вторым конденсатором фильтра цепи АРУ служит конденсатор *C13*, который также входит в цепь катушки *L7*, подводящей напряжение ПЧ к базе *T2*. Конденсатор *C15* может отсутствовать. Дело в том, что катушка связи *L9*, не образует с *C15* колебательный контур. Если значительным увеличением его емкости и удается обеспечить резонанс цепи связи с детектором, то резонансные свойства проявляются слабо, добротность будет мала из-за сильного шунтирования диодом; поэтому полоса пропускания созданного контура составит несколько десятков килогерц. При питании *T1* и *T2* от общего источника в цепь шины питания вводят резистор *R5* и конденсаторы *C17* и *C18* (резистор лучше подключать к точке присоединения катушки *L4*). Для настройки УПЧ к базе *T1* подводят напряжение ПЧ от аттенюатора ГСС; на выход детектора включают милливольтметр (УП). Подстраивают контур *L8C12* на частоту $f_{ср}$, близкую к 465 кГц. Когда полоса каждого из контуров близка к полосе УПЧ, контуры ФСС подстраивают до совпадения их резонансных частот с $f_{ср}$. Если они имеют повышенную добротность, то их расстраивают относительно $f_{ср}$ в обе стороны, но так, чтобы результирующая полоса ФСС была равномерной. Эта расстройка тем больше, чем выше добротность. Если необходимо расширить полосу пропускания группы высококачественных контуров, их число необходимо увеличить, иначе на вершине полосы ФСС будут наблюдаться пики и впадины, как и в случае использования связанных и неточно настроенных контуров. Увеличение числа контуров в УПЧ — основной путь повышения качества этого узла. Вводя в приемник электромеханический фильтр (ЭМФ) или ФПЧ на пьезокристаллах, мы значительно повышаем число резонансных контуров, так как эти устройства — многорезонаторные и они заменяют собой несколько связанных колебательных контуров.

Схема весьма распространенного в приемниках промышленного изготовления («Сатурн», «Сокол», «Топаз») варианта УПЧ приведена на рис. 56,*а*. УПЧ имеет повышенное (около 4000) усиление благодаря наличию двух каскадов, первый из которых апериодический, а второй содержит контур *L3C5* со средней точкой у катушки *L3* (2×65 витков ЛЭ 2×0,08). заключенной в стандартный броневой сердечник и экран. Смещение на *T1* подводится от двух источников:

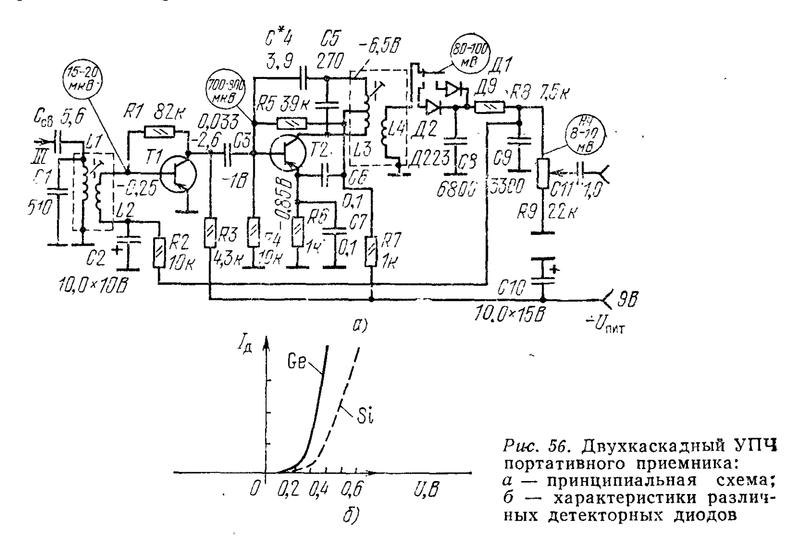


Рис. 56. Двухкаскадный УПЧ портативного приемника:
а — принципиальная схема;
б — характеристики различных детекторных диодов

питания (через *R1*) и цепи АРУ (через резистор *R2*), а сигнал — через катушку связи от третьего контура ФСС *L1C1*. В цепи базы *T2* установлен делитель на резисторах *R4* и *R5*, а в цепи эмиттера — стабилизирующая режим цепочка *R6C7*. Напряжение нейтрализации обеспечивается конденсатором *C4*, который подбирается следующим образом. Амплитудно-модулированное напряжение от ГСС подводится через конденсатор $C_{доп}$ (0,01—0,05 мкФ) к базе *T1*. Измеряя УП напряжение на резисторе *R9*, настраивают контур *L3C5* сердечником, который фиксируют воском, пластилином. Повторно настраивают ГСС на частоту резонанса контура *L3C5*, проверяют показания прибора УП. Если настройка сохранилась, то нейтрализация выполнена правильно. Если настройка по максимуму выходного напряжения осуществляется на частотах выше 465 кГц, то емкость *C4* нужно уменьшить, а если на частотах ниже 465 кГц — емкость *C4* нужно увеличить. Напряжение АРУ снимается с фильтра НЧ на выходе детектора. Фильтрующая цепочка АРУ — *R2C2*. Цепь АРУ не имеет задержки, поэтому целесообразно включить в цепь катушки связи *L4* малогабаритный переключатель для коммутации цепей двух диодов: кремниевого и германиевого. Как следует из рис. 56,*б*, эти диоды работают при различающихся уровнях сигнала, поэтому при включении кремниевого диода в цепь детектора АРУ будет срабатывать при более сильных сигналах. Известны схемы детекторов на стабилитроне (эти диоды имеют крутую характеристику детектирования, но и большую собственную емкость).

Схема УПЧ с улучшенными показателями приведена на рис. 57. В ней применены два усилительных каскада на биполярных транзисторах, выполнен-

ных по каскодной схеме общий коллектор — общая база. Максимальное усиление каждого из таких каскадов может быть доведено до 130—150, но при конструировании усиление первого из них ограничивают до 60—80, а второго — до 30—40, чтобы при необходимости дополнительно увеличить усиление. Описываемая схема достаточно совершенна и универсальна. Ее можно, например, доработать для уменьшения уровня собственных шумов. В приемнике, схема УПЧ которого приведена на рис. 57, восемь контуров ПЧ: четыре в ФСС и по два в коллекторных и базовых цепях каскодных усилителей.

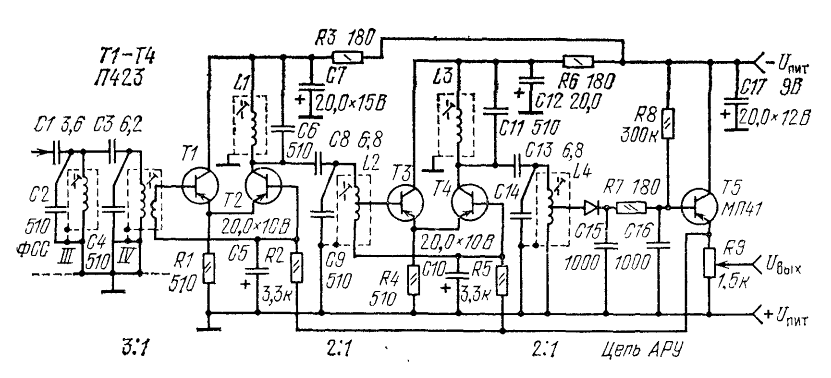


Рис. 57. Схема УПЧ с повышенным усилением

Общая селективность, реализуемая всей группой контуров УПЧ, превышает 50 дБ. В контурах связи использовано автотрансформаторное включение, увеличивающее вносимое в них сопротивление соответственно в 9 и 4 раза (для отводов от 1/3 и 1/2 витков катушек). Достаточно высокое эквивалентное сопротивление контуров при резонансе позволяет ослабить их взаимное влияние при настройке выбором конденсаторов связи (их емкость 6,8 пФ). Так, например, при использовании контуров повышенного сопротивления с контурными конденсаторами емкостью по 510 пФ, емкость конденсаторов связи *С8* и *С13* часто уменьшают до 2,7—3,6 пФ. На выходе детектора в схеме установлен фильтр, ослабляющий остаточное напряжение ПЧ, и повторитель НЧ напряжения, который используется как устройство развязки и усилитель мощности сигнала АРУ. Так как выходное сопротивление повторителя мало, то фильтрующие *RC*-цепочки напряжения АРУ установлены в каждом каскаде, а емкости конденсаторов в них увеличены для ослабления просачивания напряжения ПЧ в цепи баз биполярных транзисторов. Конденсаторы *С5* и *С10* работают еще и в качестве шунтирующих: они соединяют базы транзисторов *Т2* и *Т4* с общей шиной. Возможна замена ФСС на контурах на фильтр типа ПФIП-1 с восемью кристаллами, который обеспечивает селективность около 40 дБ. Эффективность АРУ обеспечивается подачей напряжения АРУ на два каскада; увеличение входного сигнала на 60 дБ вызывает рост выходного сигнала на 10 дБ. Накопленный опыт позволит ввести в приемник и ЭМФ.

Дальнейшее совершенствование УПЧ может осуществляться при замене биполярных транзисторов *Т1* и *Т3* на полевые. Эти транзисторы обеспечат снижение собственных шумов, ощутимых при общем усилении около $(5—6)\cdot10^3$, позволят полностью использовать контурное напряжение (контура *L2C9* и четвертого контура ФСС), что повысит усиление сигнала ПЧ в 6—10 раз. Не-

сколько повысится и стабильность работы, так как полевые транзисторы менее чувствительны к изменению температуры.

В заключение укажем порядок значений коэффициента усиления в различных каскадах на примере супергетеродина «Ленинград 002»: УВЧ — 5÷10, преобразователь — 20÷30, УПЧ-1 — 50÷80, УПЧ-2 — 30÷60.

Оценка селективности УПЧ. Внимательное рассмотрение уже описанных схем и ознакомление с данными справочников позволяет отметить общность некоторых свойств УПЧ. Определенные значения селективности связаны главным образом с числом настроенных на $f_{ПЧ}$ контуров, последовательно включенных в тракт УПЧ. Ранее отмечалась связь параметров приемников с требованиями к их классу: сложности входных цепей УВЧ и каскадов радиочастоты. Это справедливо и по отношению к УПЧ.

Рассмотрим влияние числа контуров на важный показатель качества работы — селективность. Обычный резонансный контур с добротностью Q около 75—80 на частоте 465 кГц обеспечивает в составе каскада на биполярном транзисторе селективность около 6—7 дБ. Высокоомные контуры с более высокой добротностью обеспечивают несколько лучшую селективность (8—9 дБ и более), а контуры с малой добротностью и контуры, значительно шунтирующиеся диодами детекторных каскадов и входными сопротивлениями транзисторов, — худшие показатели. Входные сопротивления обычных транзисторных каскадов составляют несколько килоом. Входное сопротивление описанного УПЧ — 50 кОм. Повышение входного сопротивления достигнуто специальным включением первого транзистора. В цепи каскада действует ООС, повышающая входное сопротивление и тем самым снижающая шунтирование ФСС. Отрицательная обратная связь обусловлена наличием эмиттерного резистора *R1* (ООС по току). В связи с этим заметим, что в любом ФСС с одинаковыми контурами в «лучших» условиях «работают» контуры средней его части, так как крайние контуры шунтируются: первый — выходным сопротивлением смесителя или преобразователя, а последний — входным сопротивлением активного элемента УПЧ.

Трехконтурный ФСС обеспечивает селективность, в среднем равную 20—26 дБ. Связанные контуры на выходе УПЧ увеличивают общую селективность на 4—7 дБ.

Регулировка полосы пропускания фильтров УПЧ. Сужение полосы способствует уменьшению количества помех, проникающих в УПЧ, но ограничивает высшие составляющие спектра сигнала, ухудшает его воспроизведение. Желательно регулировать полосу пропускания в зависимости от условий приема от 12,5 до 5—6 кГц. Регулировка ступенями в широких пределах возможна при наличии двух-трех поочередно переключаемых фильтров, но она усложняет УПЧ. Плавная регулировка выполняется легче при наличии многоконтурного ФСС, когда при смещении частоты настройки группы контуров не образуется провал на вершине характеристики фильтра.

Простая регулировка полосы осуществляется при использовании в УПЧ полевых транзисторов и трансформаторов от ламповых приемников, в которых одна из катушек смещается относительно другой. При слабой связи между составляющими контурными катушками полоса сужается. Регулировку полосы можно осуществить взаимной расстройкой части контуров ФСС относительно частоты резонанса, симметрично, например: двух контуров в группе из трех, четырех — в группе из бо́льшего числа контуров. Расстройку производят сдвоен-

ными подстроечными конденсаторами, дополнительными сердечниками на общей удлиненной оси. Подстроечные конденсаторы встраивают в экраны контурных катушек ФСС, их роторы устанавливают так, чтобы при повороте оси емкость одного из конденсаторов увеличивалась, а другого — уменьшалась.

Полевые транзисторы в УПЧ. Требования высокого усиления УПЧ налагают повышенные требования и на его отдельные каскады. Поэтому представляют интерес каскады с полевыми транзисторами, обеспечивающими повышенное стабильное усиление и высокое входное сопротивление. Схема одного из таких каскадов приведена на рис. 25*б*. Схема на рис. 34 (каскодная) может использоваться и в УВЧ, и в УПЧ. Ее коэффициент усиления зависит от крутизны характеристики полевого транзистора. Каскад на биполярном транзисторе включен по схеме с общей базой. Общая крутизна такого соединения $S_у \approx S1h_{21Б}$, где $S1$ — крутизна полевого транзистора, а $h_{21Б}$ — коэффициент передачи тока эмиттера биполярного транзистора $h_{21Б} = \Delta I_К/\Delta I_Э$ в схеме с общей базой (меньше единицы).

Свойства полевого транзистора как переменного (нелинейного) резистора зависят от положения его рабочей точки. Для определения лучшего режима управления необходимо получить статические стоковые (выходные) характеристики полевых транзисторов при различных напряжениях на затворе (см. рис. 41). Для полевого транзистора с управляющим переходом они приведены на рис. 58,*а*. Прямым построением на выходной характеристике можно определить дифференциальное входное сопротивление транзистора R_i:

$$R_i \approx \frac{\Delta U_{СИ}}{\Delta I'_С}\Bigg|_{U_{ЗИ}=\text{const}}.$$

Построение производят на выбранной характеристике семейства (для выбранного напряжения $U_{ЗИ}$). Определяют $\Delta U_{СИ}$ и $\Delta I'_С$. На рис. 58,*б* показана примерная типовая проходная характеристика полевого транзистора. Она строится по характеристикам рис. 58,*а*, переносом значений токов стока (точек

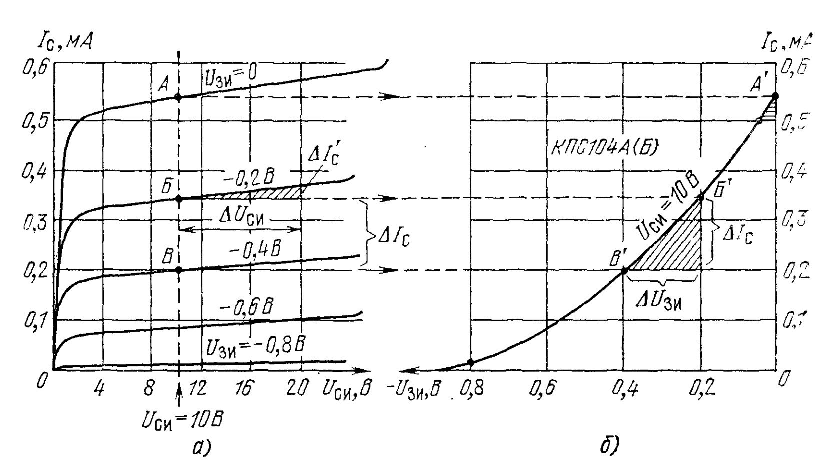


Рис. 58. Статические характеристики полевых транзисторов с управляющим переходом: *а* — семейство выходных характеристик (определение R_i); *б* — построение проходной характеристики полевого транзистора (определение крутизны характеристики в некоторой выбранной точке)

А, Б, В) при определенных напряжениях на затворе (и для выбранного напряжения $U_{СИ}$) из системы осей $I_С U_{СИ}$ в систему $I_С U_{ЗИ}$.

На проходной характеристике, построенной для некоторого $U_{СИ}$, легко построить треугольник, по которому можно определить крутизну полевого транзистора *S*.

$$S \approx \frac{\Delta I_С}{\Delta U_{ЗИ}} \bigg|_{U_{СИ}=\text{const}}.$$

Для определения крутизны преобразования (в случае использования полевого транзистора в режиме смесителя) можно воспользоваться треугольником, построенным вблизи точки *A′* (заштрихован горизонтальными линиями), из которого находится $S_{макс}$.

КОРОТКОВОЛНОВЫЙ СУПЕРГЕТЕРОДИН. КОНВЕРТЕРЫ

С работой супергетеродина можно ознакомиться при его конструировании и изготовлении. За образец целесообразно взять схему рис. 59. Ее достоинствами являются простота, возможность внесения ряда изменений без су-

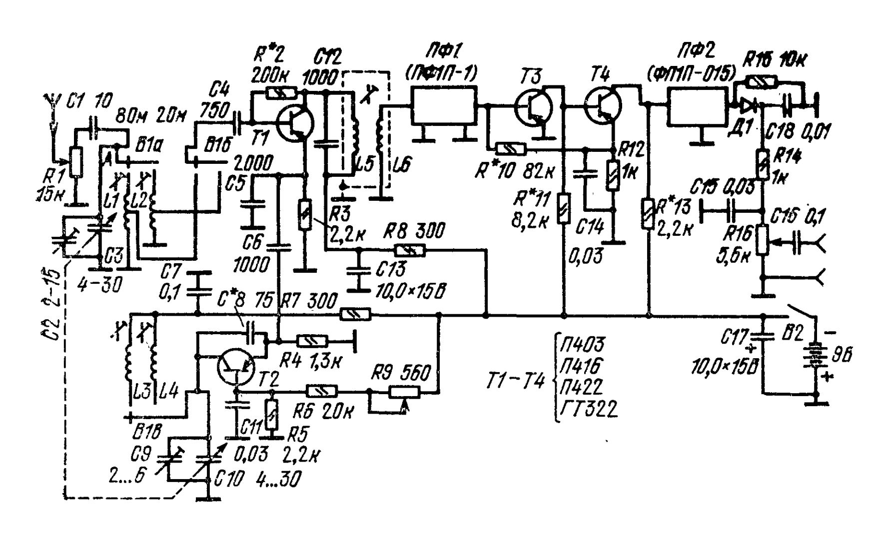


Рис. 59. Простейший КВ приемник с пьезоэлектрическими фильтрами в УПЧ

щест ных переделок, легкая настройка. В данном устройстве используются преимущественно готовые детали или детали с незначительной доработкой: переключатель диапазонов типа П2К с восемью группами контактов и длиной 77,4 мм, сдвоенный блок КПЕ (от ламповых УКВ узлов с одной подвижной и двумя неподвижными пластинами или от УКВ блока приемника «Океан-205») с $C_{макс}$ = 20—30 пФ. Трансформатор ВЧ выполнен на базе контура УПЧ от приемников типа «Сокол» или «Топаз». Он содержит две обмотки из провода ПЭЛ 0,15: катушка *L5* имеет 75 витков, катушка связи *L6*—15 витков. Трансформатор можно выполнить путем доработки стандартных контуров. Он необходим для согласования выходного сопротивления смесителя с входным сопро-

тивлением пьезоэлектрического фильтра ($R_{вх} \approx 1200$ Ом). Столь же важно согласовать последний контур УПЧ с низкоомной нагрузкой — цепью детектора.

Высокочастотные трансформаторы улучшают качество работы комбинированного фильтра в составе *LC* контуров и фильтра типа ПФ, обеспечивая повышение затухания при значительных расстройках, в то время как многорезонаторный пьезоэлектрический фильтр хорошо формирует прямоугольную характеристику при незначительных расстройках. В последнем случае имеет место хорошая селективность по соседнему каналу (более 40 дБ) при расстройке на ±10 кГц и обеспечивается подавление паразитных сигналов при значительных расстройках. Незначительная селективность связанных контуров, составляющих трансформатор (примерно 7 дБ, что соответствует ослаблению сигналов соседнего канала в 2,25 раза), суммируется с селективностью основного многокристального фильтра пьезоэлектрического типа (обычно более 30—35 дБ). Заметим, что селективность простого (в схеме второго) фильтра равна примерно 8—10 дБ. По этим причинам суммарная селективность приемника с простым и многокристальным фильтром типа ПФ1П-1 получается достаточно высокой (более 40 дБ). Так как основная селективность комбинированного фильтра обеспечивается готовыми фильтрами типа ПФ, настройка дополнительных связанных контуров, составляющих трансформатор, сводится к подстройке их сердечников и проводится с помощью прибора УП и гетеродина или — при настройке собранного приемника по максимуму сигнала. Заметим, что центральная частота при подстройке контуров не изменяется, она полностью определяется фильтрами заводского изготовления, которые имеют среднюю частоту 465±2 кГц.

Первая группа контактов переключателя коммутирует входы контурных катушек, а четвертая — их отводы. Последние выполняются от одной трети витков, считая от общей шины, поэтому вносимые во входной контур дополнительные емкости со стороны смесителя уменьшаются примерно в 10 раз. Общая минимальная емкость контура определяется, таким образом, конденсатором связи, вносимой емкостью со стороны входа смесителя (около 2—3 пФ), емкостями катушки и $C_{мин}$ конденсаторов *C2* и *C3*. В результате она составляет примерно 20—25 пФ. Пользуясь этими значениями, по таблицам и графикам можно определить индуктивности катушек *L1* и *L2* для выбранных КВ диапазонов. Катушки контура гетеродина коммутируются восьмой группой контактов переключателя П2К, причем промежуточные контакты можно соединить с общей шиной для уменьшения паразитных связей. Вносимые емкости, которые суммируются с емкостью $C_{макс}$ конденсаторов *C9* и *C10* контура гетеродина, должны быть малыми, как и в ВЧ контуре, поскольку в приемнике нет специального конденсатора сопряжения. Емкость $C_{макс}$ составляет 120—110 пФ. При затруднении сопряжения емкость конденсатора *C8* можно уменьшить, но тогда несколько уменьшается напряжение гетеродина, так как этот конденсатор является конденсатором связи, подводящим напряжение контура к эмиттеру транзистора. Особо точной подгонки сопряжения не требуется по той причине, что вносимые постоянные емкости превышают емкость переменного конденсатора *C10*. Поэтому настройка супергетеродина может осуществляться в растянутом диапазоне достаточно точно и без специальной цепи сопряжения.

Для коррекции можно использовать и конденсатор на базе самого транзистора. Известно, что емкость перехода коллектор — база транзистора зависит от напряжения на переходе. Изменяя напряжение смещения с помощью

резистора *R9*, можно подстраивать контуры: либо уточнять настройку на станцию, либо корректировать сопряжение. В последнем случае резистор *R9* снабжают стрелкой и шкалой, на которой размечены цветные секторы. Их согласовывают с метками на основной шкале настройки (конденсатора *C10*) в процессе сопряжения, как описывалось выше. В зонах максимальной ошибки наносят отметки на основную шкалу, причем цветом отмечается размер необходимой поправки. В тех местах основной шкалы, где сопряжение достаточно точное, корректор можно использовать для отстройки от помех.

Усилитель промежуточной частоты выполнен на двух транзисторах, непосредственно связанных между собой. Режим работы подбирают с помощью резистора *R10*. Первый транзистор участвует в обеспечении взаимной стабилизации режимов транзисторов УПЧ, так как увеличение тока эмиттера второго транзистора, например, при изменении температуры, напряжения питания, будет вызывать изменение режима работы первого. На выходе детектора включена *RC*-цепочка, которая отфильтровывает высокочастотные составляющие. Резисторы *R11* и *R13* могут также подбираться по сопротивлению для получения максимального неискаженного усиления. Через эти резисторы подводится питающее напряжение к коллекторам транзисторов.

Для подбора полосы пропускания УПЧ можно воспользоваться тем, что у ПФ от образца к образцу имеется некоторый небольшой разброс значений $f_{ср}$. Взаимный сдвиг средней частоты ПФ1 и ПФ2 приводит к изменению общей полосы пропускания. Пользуясь одновременно и разбросом по ширине полосы пропускания тех же фильтров (например, у фильтров ПФ1П-1 ширина полосы на уровне 6 дБ колеблется от 6,5 до 10 кГц), можно, подбирая ПФ, сузить полосу пропускания всего фильтра УПЧ до 5—5,5 кГц. Для расширения полосы вместо фильтра ПФ1П-1 можно использовать фильтр ПФ1П-2 с шириной полосы до 12,5 кГц. Дополнительное увеличение селективности можно получить заменой второго фильтра типа ФП1П-015 на фильтр типа ФП1П-012 (двухкристальный с полосой $8{,}5\pm^{2}_{1,5}$ кГц, обеспечивающий затухание при расстройке на ±10 кГц около 22 дБ). При проверке полосы пропускания используют генератор ВЧ напряжения и прибор УП, который подключают ко входу *RC* цепочки (*R14C15*).

Рассмотренная схема описана в [10] как схема приемника коротковолновика-наблюдателя. В ней отсутствует блок КПЕ. Выбор диапазонов осуществляется переключением катушек. В качестве переключателя можно использовать галетный переключатель типа 5П4Н. Емкости контуров образуются за счет присоединения к катушкам постоянных конденсаторов, входящих в схему смесителя и гетеродина. Гетеродин перестраивается только электрическим путем (см. рис. 45), полоса пропускания УПЧ несколько уменьшена. В приемнике используются лишь однокристальные фильтры ФП1П-0,15, поэтому его селективность составляет всего 35—40 дБ при расстройке на ±10 кГц. Зеркальный канал ослабляется в диапазоне 80 м на 25 дБ, а в диапазоне 20 м на 16 дБ. Отличие данной схемы от схемы, представленной на рис. 59, заключается в наличии второго телеграфного гетеродина на однокристальном фильтре ФП1П. Добавление этого гетеродина может быть проведено без переделки устройства, так как он не имеет органа настройки, выведенного на переднюю панель. Еще одно видоизменение схемы может быть проведено для использования ее в приемнике с раздельными настройками.

Для осуществления раздельной настройки параллельно катушкам устанавливают дополнительные конденсаторы настройки с емкостью $C_{макс}$ до 30—40 пФ. Настройка входного контура может производиться на частоты отдельных участков в каждом диапазоне, а основная настройка должна проводиться только ручкой КПЕ гетеродина. Смещение в цепи базы транзистора *Т2* при наличии подстроечного конденсатора лучше устанавливать постоянным, что способствует повышению стабильности частоты, а резистор *R9* исключить. С этой же целью катушки гетеродина наматывают на фарфоровых каркасах, а конденсатор переменной емкости *С10* выбирают с более жесткими пластинами, также установленными на фарфоровых изоляторах. При желании сохранить высокую селективность при суженной полосе пропускания фильтр ПФ1П-1 дорабатывают, как описано в [11]. Дальнейшее совершенствование приемника сводится к повышению его чувствительности. Для чего на входе устанавливают каскад УВЧ на полевом транзисторе в режиме повторителя. Так как на затвор полевого транзистора напряжение подают непосредственно от точки *А*, необходимость в отводах от катушек и секции переключателя $B_{1б}$ отпадает.

Использование полевых транзисторов на входе УПЧ также позволяет повысить усиление этого узла. Однако полевой транзистор хорошо работает тогда, когда источник сигнала для него имеет высокое выходное сопротивление. Такое сопротивление пьезоэлектрические фильтры не обеспечивают. Поэтому для согласования следует включить контур или два связанных контура, используемые как повышающий ВЧ трансформатор. Более правильное решение — переход к ФСС, выполненным на *LC* контурах высокоомного типа.

Таким образом, дальнейшее совершенствование устройства приводит к необходимости выполнения новой, более совершенной конструкции с параметрами, близкими к параметрам приемников 1-го класса. Подчеркнем еще раз, что конструирование приемников с улучшенными параметрами должно опираться на опыт, полученный при создании простых схем. Поэтому схеме рис. 59 следует уделить достаточное внимание и выполнить ее в нескольких вариантах.

Упрощение настройки схемы обеспечивается при выполнении раздельной настройки блоков. Гетеродин автономного типа с батареей питания градуируют отдельно и используют в дальнейшем при приеме и для установки частотных границ диапазонов, подбора катушек для контуров, подстройки трансформатора. Облегчает настройку и УП. С его помощью легко определить генерацию гетеродина, измерить напряжение гетеродина, подводимого к смесителю, настроить УПЧ. В приемнике используются высокочастотные транзисторы следующих типов: П416, П423, ГТ308, ГТ309, ГТ322, а также транзисторы типа П403 с любыми индексами. Высокочастотные катушки наматываются на каркасах от КВ контуров; при использовании полевого транзистора на входе вместо биполярного отводы исключают. Катушки одного поддиапазона для ВЧ тракта и контура гетеродина должны быть одинаковой конструкции. Для самопроверки предлагается ввести цепь АРУ, а после повторения схемы рис. 59 приступить к конструированию более совершенного приемника с УВЧ.

Конвертеры. Эти простые устройства, устанавливаемые на входе приемника СВ диапазона, позволяют последнему принимать КВ станции. Образуется составной супергетеродин с двойным преобразованием частоты. Конвертер преобразует напряжения сигналов в промежуточную частоту, лежащую в полосе частот СВ [12, 13]. При первом преобразовании в конвертере образуется пер-

зая, высокая ПЧ, чем достигается повышение селективности по симметричному каналу. Роль первого УПЧ играет УВЧ СВ.

При втором преобразовании, происходящем в СВ приемнике, образуется вторая ПЧ (обычно 465 кГц), что способствует обеспечению отстройки от помех по соседнему каналу.

Варианты конструкций конвертеров отличаются режимом работы смесителей и гетеродинов, а также типом используемого в конвертере блока КПЕ. Более сложные устройства имеют сдвоенный КПЕ (для УВЧ и гетеродина — отдельные секции). Его перестройка обеспечивает постоянство первой ПЧ. Приемник СВ работает при этом на некоторой частоте, как правило, в диапазоне 1200—1500 кГц, устанавливаемой при согласовании с конвертером. Простые конвертеры имеют гетеродин с постоянной частотой и один конденсатор настройки, с помощью которого их входные цепи подстраиваются на частоту сигнала для получения максимального сигнала на выходе. При этом основная настройка ведется по шкале СВ приемника. Еще более простые конвертеры не имеют органов регулировки. Их ВЧ тракт настраивается на частоту средней части поддиапазона, гетеродин работает на фиксированной частоте, перестройка на станции осуществляется также основным приемником. Как и при изучении простых приборов для настройки, рекомендуется выполнить несколько схем конвертеров.

Первая из них (рис. 60) — схема конвертера на биполярных транзисторах широкого применения (П416, П422, ГТ309). Для простоты переключатель диапазона не показан. Для переключения ВЧ цепей можно использовать любое

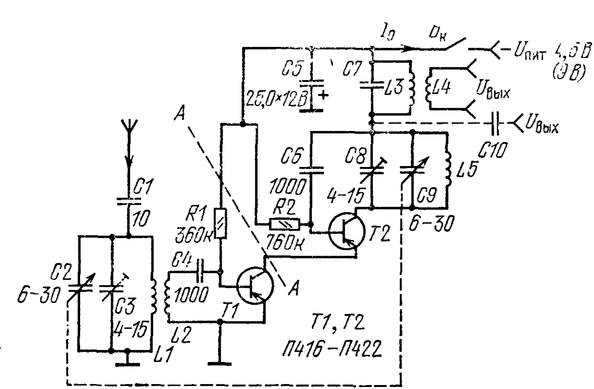


Рис. 60. Конвертер для приема КВ станций на приемник СВ диапазона

малогабаритное устройство. Удобен переключатель типа П2К: им можно подключать к катушке дополнительный полупеременный конденсатор. Его максимальную емкость обычно выбирают примерно равной емкости конденсатора настройки. Для обеспечения работы в нескольких диапазонах в конвертере устанавливают галетный переключатель на несколько направлений и положений, которым коммутируют катушки, подсоединяемые к конденсатору настройки. Входной контур связывается с антенной ($l_а$=5—8 м) с помощью конденсатора связи *С1*, а катушка контура — с транзистором УВЧ катушкой связи *L2* (число витков в 12—15 раз меньше, чем у контурной катушки). Преобразователь выполнен на транзисторах *Т1*, *Т2*, соединение которых образует каскодную схему, поэтому ток всего устройства определяется напряжением батареи питания и

режимом работы транзисторов, который, в свою очередь, зависит от резисторов *R1* и *R2*. Ток питания последовательно проходит два транзистора, поэтому устройство может работать и при повышенном до 9—12 В напряжении. При $U_{пит}=4,5$ В ток I_0 равен примерно 0,5 мА. При изменении напряжения батареи необходимо подбирать сопротивления резисторов *R1* и *R2* заново. Контур гетеродина включен в коллекторную цепь транзистора *T2* последовательно с контуром *L3C7*, на котором выделяется напряжение ПЧ. Для частоты гетеродина этот контур имеет емкостное сопротивление, и падающее на нем ВЧ напряжение используется для возбуждения $U_{гет}$. Упомянутое ВЧ напряжение подводится через конденсатор *C6* (цепь ПОС) к базе *T2*.

Значительная разность $S_{макс}—S_{мин}$, т. е. большие значения крутизны и существенные приращения их при действии напряжения $U_{гет}$ у биполярных транзисторов по сравнению с полевыми, позволяют получить высокие значения $S_{пр}$ и увеличить напряжение $U_{ПЧ}$. На рис. 40 были показаны характеристики биполярного транзистора типа ГТ309, с помощью которых можно выбрать напряжение $U_{гет}$ и определить крутизну транзистора в точке покоя. Схема конвертера рис. 60 имеет серьезные недостатки. Как уже отмечалось, оптимальные режимы работы биполярного транзистора как генератора и как смесителя не совпадают, поэтому увеличение амплитуды гетеродина в преобразователе приводит к увеличению искажений.

Выходная цепь преобразователя может быть выполнена различными способами: сигнал к СВ приемнику можно подвести от специально выполненной катушки связи *L4*, с помощью конденсатора *C10* (показан штриховой линией), дросселя, подключаемого вместо контура ПЧ (*L3C7*). Такой дроссель наматывается на небольшом стержне из феррита 600 НН и имеет индуктивность 250—300 мкГн. Конвертер можно встроить в приемник, а ручку его настройки вывести на переднюю панель. При связи через конденсатор *C10* конвертер размещают рядом с приемником, а соединение осуществляют коротким экранированным кабелем. Иногда дроссель устанавливают так, чтобы его поле наводило напряжение в ферритовой антенне (ФА) основного приемника. Последний способ применяют для соединения конвертера с портативными приемниками СВ диапазона, оснащенными ферритовыми антеннами. Еще одним недостатком простой схемы конвертера с транзисторным преобразователем является недостаточная защищенность гетеродина от дестабилизирующих влияний. Когда кабель связи несколько изменит свое положение, то изменится и емкость, вносимая им в контур гетеродина; такие же изменения происходят при перестройке приемника СВ диапазона, при изменении связи с помощью дросселя, изменении напряжения питания. Несколько лучшая стабильность условий работы и связанная с ними стабильность частоты генерации достигается при встраивании конвертера в приемник, а также организации связи с его входной цепью жесткими проводниками. Поэтому встроенные конвертеры с отдельным гетеродином работают более стабильно, хотя их практическая реализация сложнее.

Назначение УВЧ в конвертере: понижение шумов, особенно значительных при преобразовании частоты биполярным транзистором, уменьшение просачивания напряжения гетеродина в антенну. Поэтому желательна замена транзистора первого каскада на полевой. Она осуществляется достаточно просто, так как схема конвертера может быть легко расчленена на две части по линии *A—A* (см. рис. 60). Вместо УВЧ на транзисторе *T1* устанавливают УВЧ на полевом транзисторе типа КП303 (можно с любым индексом), но наимень-

шими шумами обладают транзисторы КП303 (Е, Д). Схема УВЧ на полевом транзисторе приведена на рис. 34. При такой замене следует заменить и транзистор *T2*, а также подобрать сопротивление резистора *R1*. Возможно, потребуется несколько увеличить напряжение питания. Замена транзистора *T2* необходима для согласования типов проводимостей полевого и биполярного транзисторов, так как через них проходит общий ток. Следует заметить, что полевой транзистор способствует стабилизации режима работы второго активного элемента, поэтому схема на разных по типу активных элементах работает лучше. При использовании полевого транзистора типа КП303 (Е) напряжение собственных шумов, приведенных ко входу конвертера, составляет примерно 4—5 мкВ. Замена второго активного элемента на полевой транзистор также целесообразна. Можно заменить на полевой транзистор и активный элемент в схеме автономного гетеродина, встроенного в конвертер со смесителем также на полевом транзисторе, что будет способствовать уменьшению суммарных шумов. Однако эти замены усложнят все устройство и уменьшат крутизну преобразования. Поэтому на первых порах наиболее целесообразно выполнение простого конвертера с УВЧ (или усложненной входной цепью на полевом транзисторе).

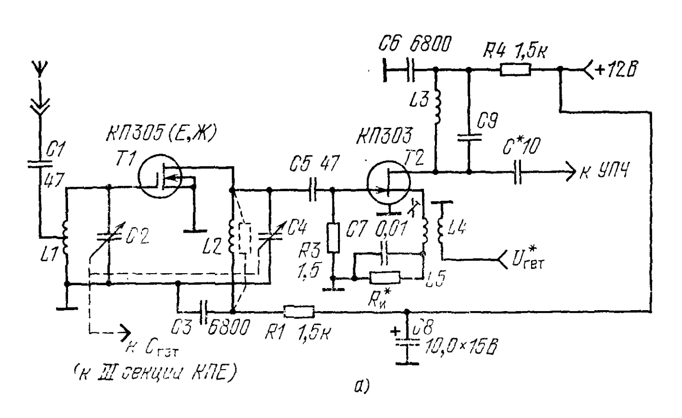
Налаживают схему с помощью УП и дополнительного генератора. Настраиваются контуры конвертера. С помощью УП проверяется равномерность генерации на выбранном диапазоне, для чего головку УП подключают параллельно контуру гетеродина. Подбирают ток питания, его уменьшают до тех пор, пока не начнет значительно уменьшаться выходной сигнал.

Конвертер по схеме рис. 60 можно выполнить на основе использования некондиционных блоков УКВ или только их механизмов, содержащих зубчатые рейки с поводками металлических сердечников. Эти сердечники заменяют на близкие по размерам ферритовые (50 ВЧ, 30 ВЧ), а соответствующие катушки перематывают и используют вместо катушек *L1* и *L5*. Для случая суженных и относительно «низкочастотных» КВ диапазонов можно применить карбонильные или альсиферовые сердечники. Ферриты СЧ диапазона имеют на КВ большие потери и для указанных целей не пригодны. Катушки связи наматываются поверх контурных или рядом с ними. Если устранить взаимное влияние катушек перегородками или экранами, можно, перемотав УКВ катушки, использовать их как подстроечные или «растягивающие» с увеличенным числом витков (см. рис. 13). В других случаях катушки можно не перематывать, а использовать их, последовательно соединив с обычными КВ катушками и общим блоком переменных конденсаторов, коммутировать переключателем, выполнить от них отводы и т. д.

Так как рассматриваемые конструкции малогабаритны, вместо того чтобы усложнять конвертер громоздким переключателем, можно выполнить два конвертера с упрощенными переключателями для работы в частных диапазонах. При выполнении конвертера специально для работы в автомобиле, предпочтительнее конвертеры с малогабаритными вибростойкими КПЕ.

Схема конвертера, полностью выполненного на полевых транзисторах, приведена на рис. 61,*а*. В таком конвертере смесительный каскад выполнен на транзисторе типа КП303 (группы с индексами Е и Д имеют малые шумы). Подобные полевые транзисторы работают с цепочкой автоматического смещения $R_И C_И$, через которую в процессе работы проходит некоторый средний ток полевого транзистора. Существует простой расчет среднего тока смесителя и

напряжения гетеродина. Этот расчет удобно пояснить на примере работы полевого транзистора типа КП303, у которого $S_{макс}$ и $I_{макс}$ легко измерить (при $U_{ЗИ}=0$), как и $U_{ЗИ\ отс}$. Особенность характеристики этого транзистора состоит в том, что квадратичный участок простирается от $U_{ЗИ\ отс}$ до 0. Оптимальный процесс преобразования происходит тогда, когда рабочая точка



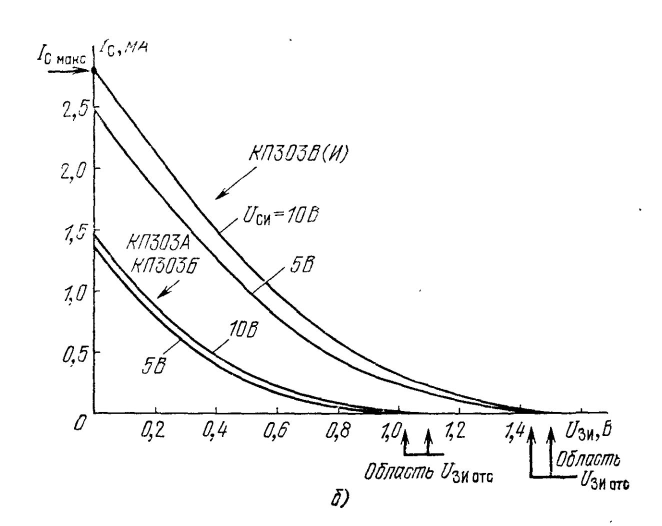


Рис. 61. Коротковолновый конвертер на полевых транзисторах:
а — схема конвертера; *б* — семейство проходных характеристик транзисторов КП303

под действием $U_{гет}$ несколько заходит в область $U_{ЗИ\ отс}$, так что импульс тока активного элемента (в нашем случае тока стока полевого транзистора) имеет отсечку 120°. При этом амплитуда напряжения гетеродина должна быть в 1,5 раза меньше напряжения $U_{ЗИ\ отс}$, а средний ток активного элемента составляет $0{,}4I_{макс}$. Согласно этим требованиям рабочую точку смесителей с активными элементами рассматриваемого типа, например КП303, выбирают, задавая смещение примерно равное амплитуде гетеродина.

На рис. 61,*б* приведены проходные характеристики полевого транзистора типа КП303 с индексами А, Б, В, И. Для КП303В $U_{ЗИ\,отс} \approx 1{,}4$ В, $I_{С\,макс} = 2{,}6$ мА. Отсюда напряжение гетеродина равно $1{,}4/1{,}5 = 0{,}9$ В. Рабочий режим следует выбирать задавая смещение вблизи напряжения 0,9 В, а сопротивление $R_И$ с учетом среднего тока $I_{ср} = 2{,}6 \cdot 0{,}4 = 1{,}05$—1,1 мА; $R_И \approx 0{,}9:1{,}1 \approx 0{,}8$ кОм. Таким же образом рассчитываются и режимы схемы для транзисторов типа КП303А ($U_{гет} \approx 0{,}65$—0,7 В; $I_{ср} \approx 0{,}55$ мА) [14].

При отсутствии подходящего по параметрам строенного блока КПЕ в схеме можно оставить только переменный конденсатор *С2*, а контур *L2C4* заменить дросселем *Др* или даже резистором *R* (показан штриховой линией). Контур *L3C9* настраивается на частоту, согласованную с УПЧ, если конвертер встраивается в приемник, или выбирается в полосе частот СВ диапазона, если используется двойное преобразование. Напряжение гетеродина подводится к полевому транзистору через связанные катушки *L4* и *L5*, содержащие несколько витков, намотанных на стержне из ВЧ феррита, причем цепь катушки *L4* соединяется с контуром гетеродина также небольшой катушкой. Напряжение гетеродина измеряется на *L5* или в цепи исток — общая шина с помощью УП; оно действует в цепи затвор — исток. Контур гетеродина может настраиваться на фиксированные частоты, а перестраиваться должен СВ приемник. Емкость конденсатора *С10* выбирается в зависимости от эквивалентного сопротивления контура *L3C9* и входного сопротивления фильтра УПЧ и может составлять от 15—20 до 47—100 пФ и более.

Практический подбор режима работы смесителя может осуществляться иначе. Определив напряжение гетеродина и оптимальный средний ток, устанавливают его в цепи стока. Для этого в цепь истока включают постоянный резистор небольшого сопротивления и подстроечный резистор, как показано на рис. 8,*б*. Заметим, что средний ток изменяется при изменении напряжения $U_{гет}$. При выключении гетеродина средний ток и смещение уменьшаются, поскольку сказывается стабилизирующее действие истокового (или эмиттерного) резистора за счет ООС по току.

Кварцованные гетеродины. Чем выше частота сигнала и тяжелее условия работы гетеродина, тем сложнее обеспечить высокую стабильность напряжения, подводимого к преобразователю, тем ниже качество работы всего составного приемника (с конвертером). Повысить стабильность работы схемы при сохранении простоты ее построения позволяет использование кварцевых резонаторов. На рис. 62 приведена схема гетеродина для конвертера транзисторных приемников, которая выполнена на микросхеме К1УС221Б и обеспечивает напряжение $U_{вых\,макс} = 0{,}5$—0,6 В. Для ее питания желательно использовать стабилизированный источник.

Схема монтируется в миниатюрном экране, режим возбуждения устанавливается подбором сопротивления резистора *R3*. Так как кварцованный генератор может служить калибратором, то напряжение, снимаемое с выходного гнезда, можно подвести и к схеме индикатора биений, применяемого для настройки гетеродинов по гармоникам резонатора $K_в$, используемого в схеме.

Гетеродин может работать с кварцами, имеющими частоты от 1,5 до 12—15 МГц. Применяя только два резонатора (низкочастотный и высокочастотный), можно обеспечить получение целого ряда опорных частот при индикации биений с преимущественно первыми, вторыми, третьими и т. д. гармониками, интенсивность которых несколько изменяют с помощью резистора *R1*. Исполь-

зование гармоник с небольшими номерами облегчает их подсчет при работе на слух в процессе перестройки градуируемого гетеродина.

Схема еще одного устройства с кварцем изображена на рис. 63. В ней использован полевой транзистор с двумя затворами типа КП350 (КП306) и резонаторы с частотами до 30 МГц. Буферный каскад на транзисторе *Т2* делает независимой работу первого каскада от нагрузки, что повышает стабильность. При замене коллекторного резистора *R8* колебательным перестраиваемым контуром этот каскад можно преобразовать в умножительный, что позволяет использовать НЧ кварцы для получения ВЧ напряжения. Вместо кварца можно включить контур высокой добротности (через *С2*) и получить стабильное напряжение на выходе умножителя, так как на пониженных частотах контур работает стабильнее, а в процессе умножения стабильность не ухудшается. Это обстоятельство следует запомнить и воспользоваться им при выполнении более совершенных конвертеров КВ диапазона, использовании СВ кварцев на КВ, а также при выполнении гетеродинов с улучшенными параметрами. Если контур задающего генератора сделать перестраиваемым, а узел гетеродина снабдить каскадом перестраиваемого умножителя, то повышение стабильности может быть достигнуто следующим образом. Генератор исходной частоты рассчитывают для работы на пониженной частоте. Стабильность при этом увеличивается. Умноженное же напряжение используют для питания нагрузки — преобразователя. Таким образом, «плавный» генератор будет достаточно стабильным, хотя и более сложным.

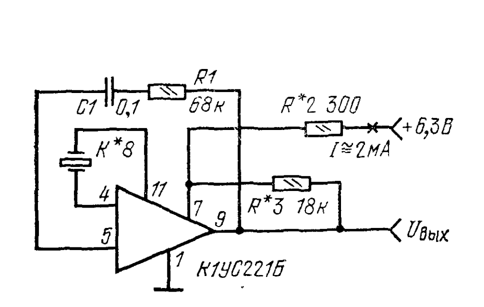


Рис. 62. Схема гетеродина на интегральной микросхеме для работы с транзисторными смесителями КВ диапазона

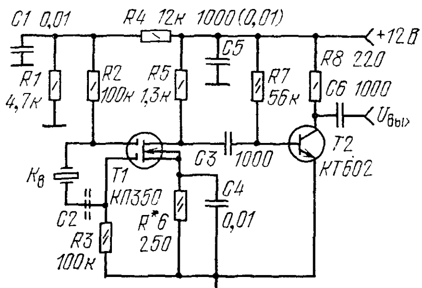


Рис. 63. Кварцованный гетеродин на полевом транзисторе с двумя затворами и буферным каскадом на биполярном транзисторе

Так как кварцевые пластины для КВ диапазонов достаточно дефицитны, то представляют интерес известные схемотехнические решения, в которых кварц может работать в нескольких поддиапазонах или на гармониках. На рис. 64,*а* приведена схема с кварцем, имеющим рабочую частоту 10,7 МГц. Конвертер, выполненный по такой схеме, работает в диапазоне 25 м. Промежуточная частота образуется как разностная между частотами сигналов $f_c = 11{,}7-12{,}2$ МГц и $f_{гет} = 10{,}7$ МГц. Сигнал на ПЧ усиливается СВ приемником. При приеме в диапазоне 31 м (9,4—9,85 МГц) ПЧ образуется «вычитанием» сигнальной частоты из более высокой частоты гетеродина.

Перестройкой СВ приемника можно принимать оба поддиапазона без каких-либо переключений. Входной контур конвертера настраивается конденса-

тором $C2$ на средние частоты полос входных сигналов или перестраивается плавно до получения максимального сигнала. В первом случае конденсатор может иметь два фиксированных положения ротора или заменяться двумя подстроечными конденсаторами, переключение которых и будет эквивалентно подготовке конвертера к работе в конкретном диапазоне. Индуктивность дросселя

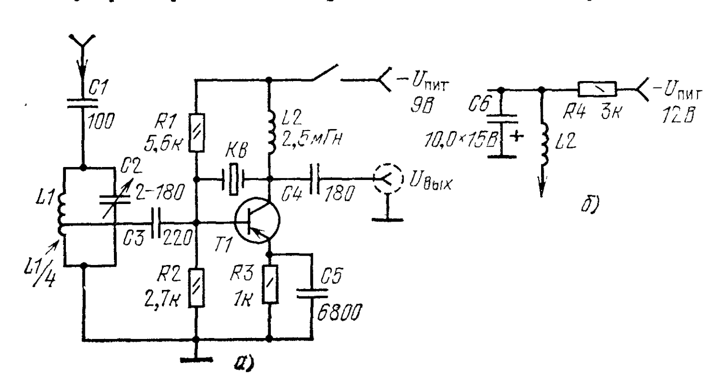


Рис. 64. Конвертер на одном биполярном транзисторе с кварцевой стабилизацией частоты для работы в двух КВ диапазонах:
а — принципиальная схема; *б* — вариант выполнения цепи питания

равна 2,5 мГн. Его наматывают на кольцевом сердечнике из феррита 100 ВЧ или броневом сердечнике. Каркас катушки имеет диаметр 18 мм. Намотка — 13 витков проводом ПЭВ 10,8 с шагом 1,5 мм. Отвод от катушки выполняют от 3-го витка, считая от общей шины. При установке приемника в автомобиль в цепь питания включают резистор $R4 = (1{,}5—3)$ кОм (рис. 64,*б*). Конвертер может работать на биполярных транзисторах типов П403, П423, ГТ309 с учетом коррекции сопротивления резистора *R3*.

УЛЬТРАКОРОТКОВОЛНОВЫЙ СУПЕРГЕТЕРОДИН-ПРИСТАВКА

Конструирование УКВ супергетеродинов затруднено из-за необходимости использования специальных ВЧ активных элементов генератора, повышенного требования к монтажу. Однако для приема в больших городах, УКВ супергетеродин может быть значительно упрощен. Особенно для записи УКВ—ЧМ программ на магнитофон. Дело в том, что в городах со станциями УКВ вещания уровень сигнала программ столь велик, что приемник может иметь малую чувствительность, а следовательно, упрощенный УПЧ (незначительные собственные шумы). Кроме того, в продаже имеются основные узлы, использование которых позволяет снизить затраты труда на конструирование, и особенно на налаживание приставки без приборов, так как готовые узлы продаются уже настроенными. К ним относятся УКВ блок от радиол и приемников (например, «Мезон-201»), детектор ЧМ сигналов. Узел УКВ на выходе имеет связанные контуры, настроенные на фиксированную частоту, а узел ЧМ детектора содержит также настроенный входной контур.

Необходимо обратить внимание на то, чтобы значения ПЧ упомянутых контуров (обычно 6,8 или 8,4 МГц) совпадали. В противном случае желательно перемонтировать только контур ЧМ детектора, заменив в нем конденсатор,

а блок УКВ оставить без изменений. Конструирование УКВ приставки к УНЧ (или магнитофону) сводится к созданию одного каскада усиления напряжения ПЧ и соединению всех узлов в общем корпусе на общей плате, выполнению шкалы.

Второй контур ПЧ из двух контуров на выходе УКВ блока связывается со входом дополнительного каскада УПЧ, а он в свою очередь — с нагрузкой в виде первого контура ЧМ детектора. Нагрузка последнего выполняется как регулятор выходного напряжения в виде переменного или постоянного резисторов. В последнем случае регулировка громкости и тембра осуществляется только регуляторами УНЧ. При наличии в УКВ блоке цепи АПЧ, напряжение управления, необходимое для ее работы, снимается также от блока ЧМ детектора.

При выполнении УКВ ЧМ приставки следует обратить внимание на соответствие напряжений питания дополнительного каскада УПЧ и самого УКВ блока и организовать тщательную развязку всех цепей питания с тем, чтобы в общую шину питания и источник не попадали ВЧ напряжения. Это повысит стабильность работы выполняемого устройства и качество НЧ сигнала, подводимого для дальнейшего усиления к УНЧ или ко входу «Приемник» магнитофона. С этой целью в цепи питания включают резисторы и блокировочные конденсаторы увеличенной емкости.

Схема УКВ супергетеродина на основе унифицированного блока УКВ заводского изготовления приведена на рис. 65. Принципиальная схема самого

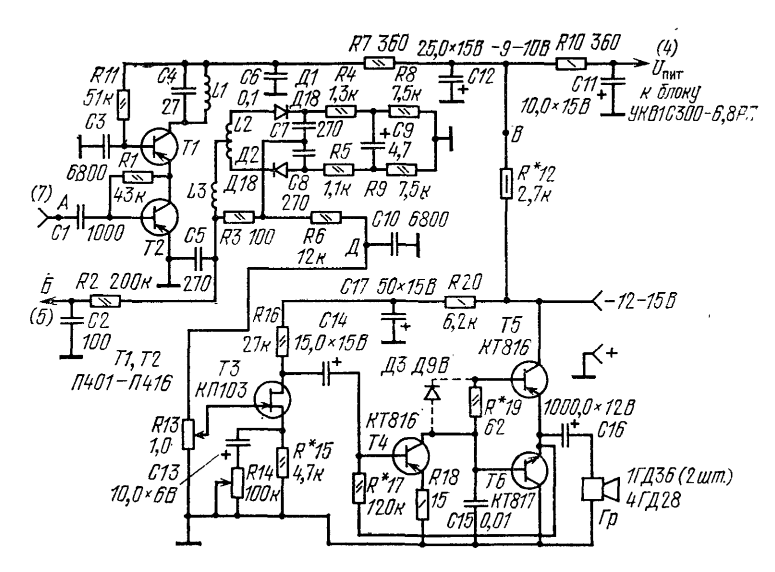


Рис. 65. Схема дополнительного УПЧ, детектора и УНЧ УКВ супергетеродина

блока не показана, так как подобные схемы известны. Обычно используют УКВ блоки от радиол «Рига-101» или «Рига-102» с цепями АПЧ на диодах Д901 Б. Эти блоки имеют семь выводов: два для подсоединения антенны и по одному для присоединения питающего напряжения, ввода напряжения АПЧ, ввода АРУ, вывода напряжения НЧ и общей шины. Номера выводов указаны

в скобках. В приемнике используется узел ЧМ детектора от радиолы «Сакта», доработанный для создания цепи АПЧ. Могут использоваться блоки детекторов от многих типов приемников и радиол, в том числе и от ламповых конструкций. Доработка узла детектора сводится к следующей операции. При наличии цепей АМ детектора детали этих цепей осторожно выпаиваются (нельзя нарушать настройку связанных контуров ЧМ детектора). На освободившемся месте монтируют составной активный элемент на биполярном транзисторе типа П401—П416 или им соответствующих, причем нагрузка второго биполярного транзистора подключается к входному контуру детектора; емкость конденсатора *C4* подбирают в зависимости от частоты выходного напряжения блока УКВ. Выводы выходных цепей узла детектора связываются с цепью АПЧ (вывод *5* на блоке УКВ) и входом УНЧ. Гнездо выхода *к магнитофону* может быть связано с точкой *Д* через *RC*- или *LC*-фильтр. На рис. 65 показан вариант соединения ЧМ детектора непосредственно с УНЧ. Усилитель низкой частоты выполнен на современных активных элементах: малошумящем полевом транзисторе (КП103) и трех биполярных средней мощности — КТ816 и КТ817 (образуют комплементарную пару). Выходная мощность УНЧ около 1—2 Вт, его нагрузкой могут служить головки, указанные на рис. 65. Лучшей нагрузкой служат две последовательно соединенные головки, что несколько увеличивает выходное напряжение УНЧ. Три биполярных транзистора усилителя мощности связаны непосредственно, что способствует расширению полосы пропускания УНЧ и стабилизации режима по постоянному току. УНЧ практически не требует налаживания. Можно подобрать сопротивление резистора *R17* и резистора *R19* или присоединить параллельно ему диод, а также подобрать резистор в цепи истока полевого транзистора с целью изменения коэффициента усиления первого каскада и лучшей регулировки тона, осуществляемой резистором *R14*.

Биполярные транзисторы выходного каскада (для указанной выходной мощности) могут работать с радиаторами малой площади — пластинами с эффективной площадью 100 см^2, к которым они привинчиваются. Необходимость в радиаторах возрастает при увеличении напряжения питания транзисторов оконечного каскада. При таком повышении необходимо изменить сопротивления резисторов *R20*, *R7* и *R10* — цепей развязок напряжений питания каскодного УПЧ и блока УКВ, так, чтобы в точке *В* присутствовало напряжение около 9—10 В даже при увеличенном напряжении питания УНЧ. При значительном повышении напряжения питания потребуется увеличить и сопротивление резистора *R16* в цепи стока полевого транзистора, а также площадь радиаторов.

Налаживание схемы сводится к подбору резисторов — делителей в цепях питания, подстройке контура *L1C4*, проверке работы ЧМ детектора. Если на вход приставки (точка *А*) подать напряжение (около 5 мВ), необходимое для работы каскада УПЧ и детектора частоты (6,8 или 8,4 МГц), УНЧ отключить, а точку *Д* соединить с УП, то последний должен показать напряжение, близкое к нулю. Уменьшение или увеличение частоты напряжения, подводимого к точке *А*, должно приводить к повышению или понижению выходного напряжения детектора. Детектор ЧМ работает вполне удовлетворительно, когда его выходное напряжение изменяется строго линейно на ±(0,2—0,4 В) от нулевого значения, при изменении частоты в полосе 150 кГц.

Линейность рабочего участка детекторной характеристики ЧМ детектора является принципиально важным показателем. Ее, как и уровень выходного на-

пряжения детектора, можно отрегулировать подбором резисторов частотного детектора (стараясь не расстроить схему и не изменить порядок выводов от катушек контуров), а уровень шумов уменьшить подбором резисторов *R4* и *R5*. Последний резистор иногда выполняют малогабаритным подстроечным, отверстие для отвертки выполняют в корпусе (экране) ЧМ детектора.

Практика показывает, что при приеме мощных УКВ ЧМ станций в городах, приставкой на основе УКВ блока типа УКВ1 С300-6,8 РП («Рига-101») удается подвести ко входу УНЧ напряжение около 10—30 мВ. Заметим, что обычно вход *Приемник* магнитофона рассчитан на напряжение 10—20 мВ. Доработка УКВ блоков, не имеющих цепи АПЧ, описана в [15], а подробные данные о различных типах таких блоков в [16, 17].

КОМПОНОВКА И ОФОРМЛЕНИЕ ПРИЕМНИКА

Автономные ВЧ узлы. В приемниках с громоздкими и тяжелыми деталями в узлах УПЧ, УНЧ и выпрямителе такие детали устанавливались на шасси. Под его поверхностью, в «подвале», разделенном на секции экранирующими перегородками, размещались детали ВЧ каскадов: контурные катушки, делители напряжения питания активных элементов, конденсаторы связи и блокировки. Катушки размещали вокруг соответствующих галет переключателей, оси которых проходили через несколько секций сквозь отверстия в перегородках-экранах. Конденсатор переменной емкости устанавливали на шасси выводами вниз (к переключателю). Два важнейших узла представляли собой корпус в виде ящика с отражательной доской, головками громкоговорителей и шасси.

В портативных транзисторных приемниках все детали размещают на единой плате; у заводских конструкций — с печатным монтажом. На плате, которую крепят непосредственно к корпусу, устанавливают КПЕ, ползунковые переключатели, катушки ВЧ узлов и трансформаторы УПЧ. С такой компоновкой приемник также имеет две основных сборки: корпус и плату. На компоновку влияют различные факторы. Один из них — экономический. Цена транзисторов массовых серий стала приближаться к цене резисторов и конденсаторов, и это обстоятельство позволяет резко увеличить число транзисторов, сделать для каждого из диапазонов собственную ВЧ плату — автономный узел. Такой узел включает КПЕ, контурные катушки, ряд деталей в виде резисторов и конденсаторов, на которых выполняют УВЧ, смеситель и гетеродин.

Приемники с автономными ВЧ узлами имеют разветвленную входную часть, более громоздки, требуют нескольких КПЕ с собственными шкалами, что затрудняет размещение их на передней панели. Но ощутимы и преимущества. В автономных узлах могут использоваться наиболее подходящие по параметрам КПЕ, контурные катушки, транзисторы. Такие узлы вводят в строй группами, не ожидая окончания монтажа других плат.

Автономные ВЧ узлы: УВЧ и гетеродины могут использоваться группой, с общим УПЧ, но этот принцип целесообразно распространить и дальше, вплоть до полной автономии, когда в каждом диапазоне используется отдельный блочный приемник. Последний вариант компоновки характерен для профессиональных устройств, используемых в стационарных условиях. Он обеспечивает максимальное упрощение монтажа в каждом ВЧ узле, причем в группе таких узлов легко обеспечивается замена и дублирование. Они работают в определен-

ных диапазонах на фиксированных волнах: гетеродины автономны, настройки отдельных ВЧ узлов разделены. Настройка гетеродинов и УВЧ производится несколькими ручками, фиксируемыми затем по положению. Коммутация антенн и входов УВЧ осуществляется специальным антенным коммутатором, к которому подводятся снижения нескольких антенн. Не следует слепо копировать такое построение, но при любительском конструировании нужно учитывать указанные особенности, так как они способствуют значительному повышению стабильности работы приемников.

Следует учитывать, что автономия ВЧ узлов приводит к сильному разветвлению ВЧ тракта, требует выполнения каркаса в виде миниатюрной этажерки, в которой «на полках» устанавливают платы. Такое решение затрудняет размещение многих автономных шкал на панели или требует выполнения общей шкалы увеличенных размеров с рядом параллельных дорожек, предназначенных для отсчета частот настройки в отдельных диапазонах. А это, в свою очередь, требует объединения приводов всех частных КПЕ. С другой стороны, автономная компоновка позволяет упростить ВЧ переключатели, сократить длину соединений, уменьшить емкость монтажа, повысить перекрытие по диапазону, вести монтаж КВ узлов по правилам УКВ монтажа.

Переключение диапазонов. На первый взгляд оно осуществляется достаточно просто, но на самом деле связано с рядом трудностей. Основные из них: недостаточная надежность контактов и избыточное их число, удлинение соединительных проводников. Здесь примером являются приемники и радиолы производства 70-х годов. Площадь печатных плат в них доходит до 5—6 дм², а число контактов в группе ползунковых переключателей превышает 150. Суммарная длина соединительных проводников между КПЕ и контурными катушками доходит до нескольких десятков сантиметров. Так как каждая из групп катушек с удлиненным линейным переключателем занимает достаточно большую зону общей платы, то КПЕ отдаляется от групп катушек, с которыми он связан. Значительно меньше контактов у группы плат, снабженных барабанным переключателем, но их конструкция сложнее, сами катушки должны быть малогабаритными и размещаться в секциях — отсеках барабана. Конструкции такого рода часто выходят из строя из-за ненадежности контактных пружин.

Самостоятельное конструирование плат описанного типа нецелесообразно, поскольку они могут оказаться неработоспособными из-за самовозбуждения ВЧ каскадов с «длинными» соединениями, имеющими значительную собственную индуктивность. Заметим, что при заводском изготовлении платы тщательно рассчитывают и макетируют. Для сокращения числа контактов для многодиапазонного приемника применяют автономную компоновку. Несложно понять, что для коммутации любого из диапазонов необходимы два контакта: для переключения цепи антенны и подключения выхода частного смесителя к общему УПЧ. К этим ВЧ контактам следует добавить группу низкочастотных контактов для подключения питающих напряжений к каскадам выбранного диапазона. Если в некотором сложном устройстве с десятью диапазонами необходимо (по обычному способу коммутации) использовать до 15 контактов на каждый диапазон, то при автономных ВЧ узлах их общее число удается сократить в 5 раз, т. е. использовать всего 30 контактов, из которых только 20 будут коммутировать ВЧ цепи. По такому принципу строятся многие современные приемники и тюнеры, в которых вместо переключающих контактов

пользуют специальные управляемые диоды, имеющие незначительное прямое противление и значительное обратное сопротивление.

При использовании в качестве элементов коммутации в ДВ и СВ диапазонах герметизированных включателей — герконов, с емкостью между концами пластин до 1 пФ, отклонения ее при вибрации (например, на 0,05—0,1 пФ) не расстроят ВЧ тракты, но эта же вибрация пластин уже ощутимо скажется на работе ВЧ узлов некоторых КВ диапазонов. Для устранения этого недостатка следует использовать герконы-переключатели, у которых средняя пластина может занимать два крайних положения, прикасаясь к одной или другой неподвижной пластине и фиксируясь по положению. Заметим также, что для уменьшения влияния переключающей обмотки ее следует выполнять более короткой (с длиной менее 1/3 длины ампулы геркона) и одевать на ампулу со стороны пластины, соединяемой с общей шиной или проводником, на котором нет ВЧ напряжения.

Для сокращения длины соединений рассмотрим изменение конструкции переключателя. Придадим ползунковому переключателю с линейно расположенными контактами функции барабанного, установим движок его непосредственно на самом блоке КПЕ и сделаем его неподвижным (рис. 66). Для удобства

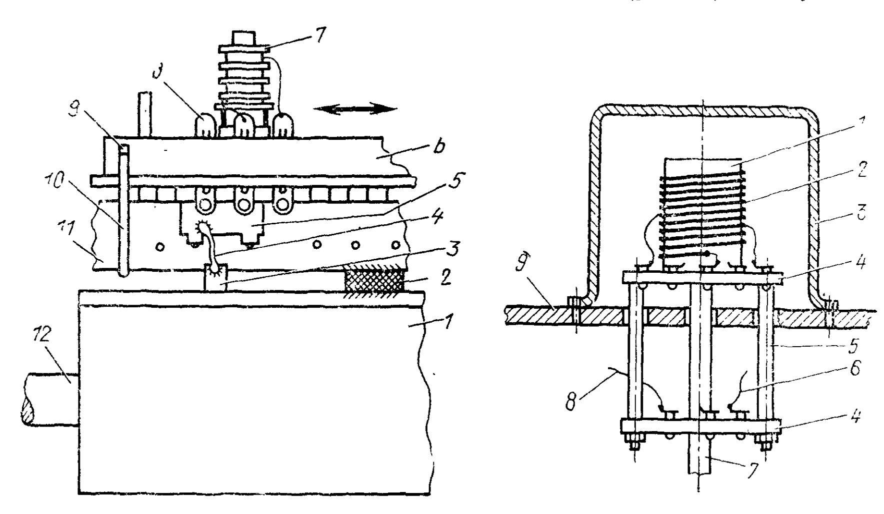


Рис. 66. Схема размещения деталей ВЧ контуров и переключателя диапазонов непосредственно на блоке КПЕ:
1 — блок КПЕ; *2* — опора; *3* — вывод одной из секций КПЕ; *4* — соединительный провод; *5* — замыкающая пластина движка; *6* — планка; *7* — катушка контура; *8* — контакты на планке; *9* — паз для пружины; *10* — пружина; *11* — движок; *12* — ось блока КПЕ

Рис. 67. Вид контурной катушки КВ гетеродина:
1 — каркас катушки; *2* — провод обмотки; *3* — экран; *4* — плата переключателя (галета с контактами); *5* — стойка переключателя; *6*, *8* — выводы от НЧ цепей и цепей управления; *7* — ось переключателя (металл или текстолит); *9* — опорная плата

работы с катушками КПЕ установим вверх выводами. Сами катушки помещают на контактной планке (ранее неподвижной) или двух спаренных планках, а выводы блока КПЕ короткими гибкими проводниками соединяют с пластинами, замыкающими контактные подпружиненные лепестки. Длина соединительных проводников при таком размещении основных деталей ВЧ узла сокращается в десятки раз. На каждом КПЕ можно установить два-три

ползунковых переключателя, а любой из контактов дублировать соседним, например, расположенным по другую сторону движка. Эти контакты просто переставляют с места на место, а группы подпружиненных контактов легко объединить с соседними. Планка с контактами и катушками становится подвижной. Движение может передаваться от небольшого рычага, связанного механически с ручкой на передней панели приемника. Ход планки увеличивается до 6—10 мм, с тем чтобы отключаемая катушка полностью выводилась из зоны выводов КПЕ. Контакты планки также легко переставляются. Для этого необходимо сжать пинцетом фиксирующие усики. Это нужно делать обязательно перед пайкой, так как после пайки они часто теряют эластичность и скрепляются между собой каплей олова. Для сохранения некоторой подвижности пластин соединять выводы КПЕ с замыкающими пластинами следует гибкими многожильными проводниками.

В качестве второго примера рассмотрим использование галетных переключателей. Традиционно их секции отводят отдельным узлам или каскадам, что предполагает вполне определенное размещение контурных катушек. При этом неизбежно удлинение части соединительных проводников, идущих от контактов переключателя к катушкам или катушке. Если длину соединений удается сократить для одного из каскадов, то положение деталей другого в значительной мере определяется положением контактов в соседней секции переключателя. Кратчайшие соединения контуров с переключателем, а следовательно, и ослабление паразитных связей за счет влияния индуктивности соединительных проводников удается реализовать при непосредственной близости катушки и переключателя, когда переключатель вводится в экран катушки. Такой случай рассмотрен на рис. 67. Контакты секции переключателя, установленные на фарфоровой опорной детали, короткими проводниками связаны с отводами катушки. Вторая секция используется для коммутации цепей, не проводящих ВЧ ток, например, для коммутации управляющих диодов, реле с контактами цепей второго каскада и т. д. Наводки напряжения в металлических деталях переключателя слабо влияют на цепи второй секции. Таким образом, удается поместить основную катушку и ее экран в желаемое положение, отдалить каскады один от другого и разместить детали второго каскада в лучшем положении, не определяемом уже размерами переключателя.

К преимуществам подобного размещения деталей относится и повышенная стабильность контура на основе коммутируемой катушки. Ее целесообразно выделить для гетеродина. Размеры фарфоровой секции переключателя достаточно стабильны, поэтому контур гетеродина, в котором эта деталь используется как элемент крепления, монтируется жестко и не расстраивается под действием изменений температуры.

Компоновка приемника. Печатная плата фабричного изготовления обычно имеет размеры, соизмеримые с размерами большой стенки корпуса. На этой же плате укрепляют и КПЕ. Исключение ряда громоздких деталей из состава супергетеродина позволяет не только осуществить иную компоновку, но и исключить общую плату. Дело в том, что тракт ВЧ сигнала можно, как и тракт УПЧ, выполнить на отдельных платах — узких полосках из диэлектрика, лучше с одной металлизированной стороной. В нашем случае мощность, выделяющаяся в объеме корпуса, мала, самая массивная деталь — блок КПЕ поскольку выпрямитель, УНЧ и головки громкоговорителей отсутствуют. Поэтому компоновку можно вести, используя эту массивную деталь как опору (рис. 68).

Блок КПЕ целесообразно разместить выводами вверх и укрепить на нем две небольшие платы. На первой плате размещают все детали ВЧ тракта, непосредственно связывая их с выводами КПЕ, и переключателя диапазонов. Блок КПЕ крепят к передней панели, на которой устанавливают шкалу настройки, связанную с осью КПЕ, или две шкалы (вторая связывается с переменным конденсатором гетеродина) в зависимости от типа схемы супергетеродина. При таком размещении КПЕ удобно «работать» с контурами ВЧ тракта:

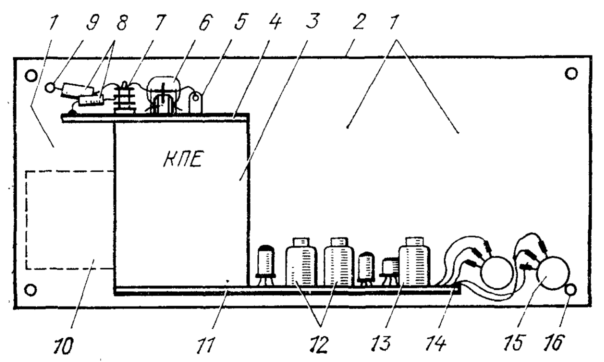


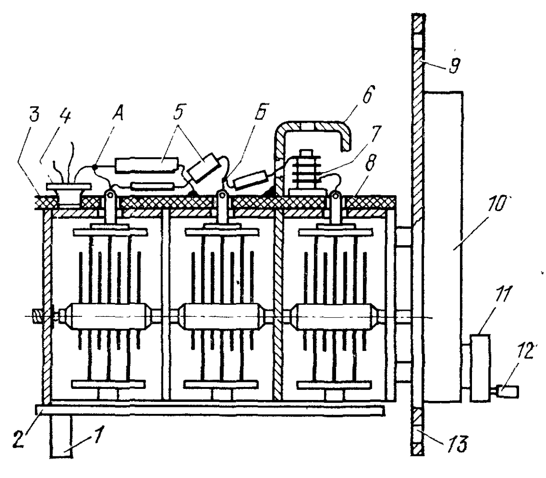
Рис. 68. Вид приемника сзади. Расположение плат на КПЕ:
1 — место шкалы; *2* — панель приемника; *3* — блок КПЕ; *4* — плата ВЧ узлов; *5* — выводы блока КПЕ; *6* — переключатель; *7* — катушка; *8* — навесные детали; *9* — ввод антенны; *10* — место блока гетеродина; *11* — плата ПЧ; *12* — контуры ФСС; *13* — трансформатор последнего каскада УПЧ; *14* — разъемы; *15* — переменные резисторы; *16* — отверстия для витков крепления панели к корпусу

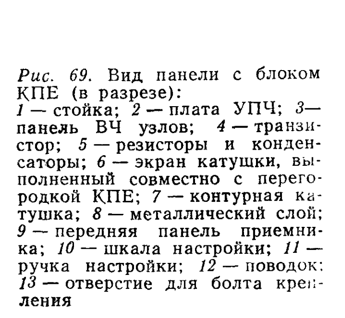
они доступны и настраиваются при нормальном, а не перевернутом положении шкалы. Экраны между контурами или их группами выполняют в виде перегородок из фольги, устанавливаемых на плате. Они могут окружать катушки, иметь отверстия для прохода отверток, регулирующих положение сердечников. Узел гетеродина целесообразно выполнить экранированным, закрытым, в виде коробки, прикрепляемой к одной из сторон блока КПЕ. Ось органа настройки этого узла выводят на переднюю панель. Удлиненная панель удобна для размещения шкал в виде параллельных дорожек.

На второй плате, которую устанавливают горизонтально и прикрепляют к нижней плоскости КПЕ, размещают УПЧ, ФСС и первый каскад УНЧ, если в нем есть необходимость. Если масса платы оказывается большой, то ее кромку скрепляют с передней панелью. При таком расположении платы УПЧ смесительный каскад можно также устанавливать на ней.

Входная цепь транзистора смесителя может располагаться и на первой плате, а сам транзистор устанавливаться на второй, так как у секций КПЕ имеются выводы и вверх, и вниз, поэтому соединительного провода не требуется. Заметим, что длина соединений уменьшается. На каждой из плат детали схемы соединяются между собой только своими выводами, как правило, дополнительно укороченными. Часть деталей приклеивают к плате, верхняя поверхность которой может иметь слой металлизации, а часть навешивают, причем в качестве опор используют не только специальные стойки, но и короткие выводы деталей, жестко зафиксированных клеем на плате. На рис. 69 показаны такие опоры. В точках *А* и *Б* детали опираются на выводы транзистора и лепесток вывода средней секции КПЕ. Масса резисторов и конденсаторов мала, и два вывода двух других деталей надежно удерживают место пайки и третью деталь на весу. Часть выводов при этом удаляется от платы, что способствует снижению паразитной емкости монтажа. Некоторые выводы проходят в отверстия в перегородках — экранах, выполненных, например, из мед-

ной ленты, припаянной к общей шине платы. Если смещение деталей необходимо исключить (например, после настройки), под более массивные детали и места спаек их выводов помещают небольшие шарики из ваты, смачиваемые затем каплями клея типа «Суперцемент» или эпоксидной смолы, смешанной с отвердителем. Если платы несколько отдалить от КПЕ, то монтаж может быть двусторонним. На второй стороне целесообразно укрепить вторую общую шину (обычно ленту из медной фольги).




Рис. 69. Вид панели с блоком КПЕ (в разрезе):
1 — стойка; *2* — плата УПЧ; *3* — панель ВЧ узлов; *4* — транзистор; *5* — резисторы и конденсаторы; *6* — экран катушки, выполненный совместно с перегородкой КПЕ; *7* — контурная катушка; *8* — металлический слой; *9* — передняя панель приемника; *10* — шкала настройки; *11* — ручка настройки; *12* — поводок; *13* — отверстие для болта крепления

Выполнение плат. Платы узлов приемника можно сделать из текстолита, прессованного картона, покрываемого лаком, или пластмассы. Лучшие платы — из стеклотекстолита, фольгированного с одной стороны. Монтаж может быть односторонним и двусторонним. Первый проще, но не обеспечивает большого снижения емкости монтажа. Детали могут размещаться на стороне фольги и непосредственно припаиваться к ней своими выводами как к общей шине. Этот способ имеет еще один недостаток: детали могут замкнуться через фольгу. При размещении деталей на стороне изоляции в плате выполняют отверстия, сквозь которые пропускают выводы деталей, припаиваемые на другой стороне к проводникам или металлическому слою. Возможна комбинированная компоновка платы: детали устанавливают на стороне фольги (общей шины), а на стороне изоляции (чистого стеклотекстолита) приклеивают полоски медной фольги. Их используют как вторую общую шину, шину подвода напряжения питания и цепи АРУ.

При этом любая металлическая полоска играет роль обкладки конденсатора, диэлектриком которого является сама плата, поэтому цепи в виде полосок на второй стороне платы будут оказывать на детали основной стороны минимальное влияние. Отверстия в плате можно использовать для установки (вклеивания) в них проходных конденсаторов (рис. 70). Когда такой конденсатор имеет малые размеры и выполнен в виде стойки, поддерживающей детали, то на плате экономится место для деталей, конденсаторов связи, а емкость монтажа уменьшается.

Выполнять печатный монтаж не всегда целесообразно. Мы уже отметили роль полосок из фольги, приклеиваемых к плате. Они и два-три также при-

клеенных проводника из обычного провода обеспечат подвод необходимых постоянных напряжений. Детали ВЧ контуров и цепи сигнала для уменьшения емкости монтажа лучше просто «подвешивать». Как правило, они обладают малыми размерами и массой.

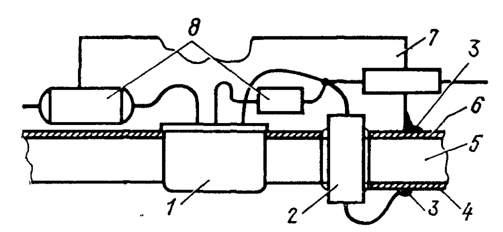


Рис. 70. Установка деталей на плате: *1* — транзистор; *2* — проходной конденсатор или резистор в отверстии платы; *3* — место пайки; *4* — металлическая лента, приклеенная на обратной стороне платы; *5* — плата; *6* — металлизация; *7* — экран (полоска из фольги, лента); *8* — детали схемы

Упрощение налаживания и настройки узлов, выполненных на платах, может быть достигнуто и при монтаже транзисторов (или транзисторов с некоторыми другими деталями) на отдельных небольших по размерам платах — модулях, устанавливаемых затем на общей плате как на опоре. Так, например, на плате УПЧ в виде полоски из металлизированного стеклотекстолита можно установить отдельные вспомогательные платы размером 30×40 мм и менее, на которых заранее смонтированы усилительные каскады или только транзисторы. Усилительные каскады: транзистор или два транзистора, соединенных в каскодную схему, с нагрузкой в виде контура или связанных контуров в миниатюрном исполнении, — обычно выполняют на доступных деталях, поэтому число таких вспомогательных плат — модулей может быть заведомо увеличено. Выбирать следует вспомогательные платы, которые обеспечивают лучшие показатели в работе: бо́льший коэффициент усиления, меньшую чувствительность к изменениям температуры, более высокую стабильность работы и т. д. Эти платы временно укрепляют на общей плате каплями канифоли, а после подбора лучших и совместной настройки скрепляют с платой клеем. Вспомогательные платы с одним или двумя транзисторами, связанными контурами в экранах и т. п. могут использоваться отдельно, например, в УВЧ, гетеродине, входных цепях, устанавливаться непосредственно на выводах блока КПЕ.

Компоновка УНЧ. Традиционный путь конструирования УНЧ и колонок сводится к конструированию широкополосного УНЧ, нагруженного на двух-, трехполосный фильтр, соединенный с головками. Следует обратить внимание на активные колонки со встроенными УНЧ. Опыт работы с колонками показывает, что качество звучания можно улучшить, размещая головки в общей колонке большого объема в разных плоскостях. Такое же улучшение достигается и при размещении каждой из головок в собственной колонке соответствующего объема, меньшего, нежели объем общей колонки.

Выполнение механических узлов и деталей. Современный приемник часто формируют в корпусе, имеющем форму прямоугольного параллелепипеда небольшой высоты. Поэтому зона внутри корпуса у панели оказывается заполненной деталями, а тыльная часть более свободной. Для улучшения использования объема корпуса блок КПЕ можно выполнить с общей осью. Поворот такой оси будет изменять настройку сразу нескольких ВЧ узлов. В свою очередь на базе каждого КПЕ можно без больших трудностей (с простым пере-

ключателем) выполнить тракты нескольких поддиапазонов. Подобную ось можно использовать и для коррекции. Такой вариант показан на рис. 71. Его можно осуществить при самостоятельном выполнении КПЕ гетеродина. Этот узел выполняют с полой трубчатой осью, к которой непосредственно (или через шестерню) присоединяется конденсатор гетеродина. Ось связывается со стрел-

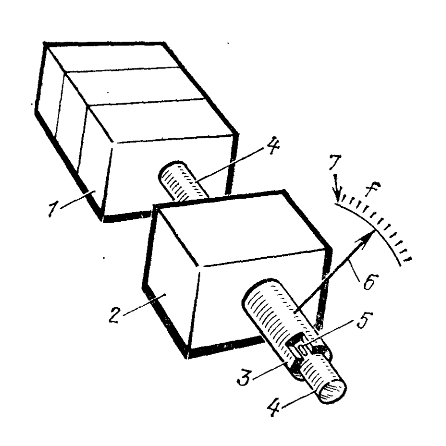


Рис. 71. Схема соединения блока КПЕ с дополнительным конденсатором:
1 — блок КПЕ (УВЧ и входных цепей); *2* — одиночный конденсатор (гетеродина); *3* — ось одиночного конденсатора; *4* — ось блока КПЕ; *5* — шпилька в прорези оси *3*; *6* — стрелка; *7* — шкала настройки

кой основной шкалы настройки. Вторая ось (КПЕ ВЧ тракта) проходит внутри основной и снабжается штырьком, который располагается в прорези основной оси с возможностью перемещения в зоне, ограниченной углом α. При настройке приемника поворачивается основная трубчатая ось, которая краем прорези толкает штырек и поворачивает ось блока КПЕ. Так как частота принимаемой станции устанавливается точно только гетеродином, то после ее установки внутренняя ось доворачивается. При этом ВЧ тракт подстраивается до получения максимального сигнала на индикаторе настройки. Так же можно выполнить и привод конденсатора коррекции ВЧ узла.

Изготовление недостающих деталей можно упростить, используя армированную эпоксидную смолу. Форму необходимой детали выполняют в пластилине и затем заливают подготовленной смолой, смешанной с наполнителем, например, опилками стеклотекстолита или металла. С помощью этой смолы легко выполняют и опоры катушек. Их предварительно фиксируют по месту пластилином, под них подводят ватный тампон, смоченный смолой. После ее отвердевания второй тампон устанавливают на месте временной опоры из пластилина.

Оформление приемника. Простой корпус выполняют в виде двух рамок из металлических уголков, соединяемых совместно в прямоугольный параллелепипед. Если удается соединить уголки встык и тщательно обработать, то панели из фанеры, оклеенной пленкой или фольгой, можно вкладывать в каркас изнутри. Сами уголки будут являться элементами оформления. Если уголки не удается тщательно соединить, а на их поверхности по углам просматриваются заклепки или винты, то упомянутые панели следует наложить поверх рамок каркаса. При этом возникает задача по маскировке мест связи панелей. Эту маскировку проводят, используя детали украшения автомобилей: плоские ленты из металлизированной пластмассы, узкие анодированные детали из алюминия. Так как количество тепла, выделяющееся в корпусе, мало, то его мож-

но выполнять глухим, без отверстий, что исключает попадание в него пыли. Примерный размер корпуса определяется размерами блоков КПЕ и шкал настройки (с учетом размеров УНЧ и выпрямителя, при их совместном расположении).

Примерный вид конструкции приемника показан на рис. 72. Передняя панель слегка утоплена. В первую (переднюю) рамку можно вставить узкую

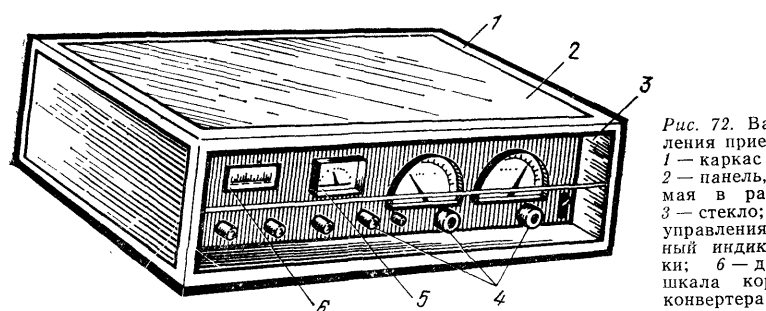


Рис. 72. Вариант оформления приемника:
1 — каркас из уголков; *2* — панель, вкладываемая в рамки каркаса; *3* — стекло; *4* — ручки управления; *5* — стрелочный индикатор настройки; *6* — дополнительная шкала корректора или конвертера

полосу из обычного стекла с тщательно обработанной нижней кромкой. Образуется ниша для доступа к ручкам управления, а шкалы и ручки дополнительно защищаются от пыли. На передней панели устанавливают одну или две одинаковых шкалы (вторая для осуществления коррекции или раздельной настройки), индикатор и шкалу конвертера. Ввод антенны и гнезда для подвода питания и кабеля, связывающего приемник с УНЧ, устанавливают на задней стенке.

Другой принцип выполнения передней панели заключается в том, что узлы всего устройства снабжаются собственными удлиненными шасси и миниатюрными передними панелями, входящими как составные части в общую панель.

Узлы конвертера, блок ВЧ с общей для всего приемника шкалой или автономной шкалой гетеродина, УПЧ могут быть выполнены в виде небольших отдельных блоков. Их детали монтируют на плате, соединенной с отдельной частной передней панелью. Каждая из таких панелей согласуется по ширине и длине с соседними, так чтобы все панели устанавливались на общей рамке и прикреплялись к ней винтами. Изъятие любого из узлов приемника при этом способе компоновки значительно упрощается, и это обстоятельство облегчает более тщательное их налаживание. В частности, для налаживания некоторые узлы (гетеродин, УПЧ) можно отнести в мастерскую или радиоклуб, где имеются более точные приборы. После предварительной настройки блоки объединяются вместе, питание подводится к ним через миниатюрные разъемы, соединения ВЧ узлов проводятся короткими экранированными проводниками, влияние емкости которых учитывается при окончательной подстройке.

Иногда на отдельных панелях узлов делают более миниатюрные ручки управления, подчеркивая этим их вспомогательное назначение. При этом основные ручки настройки увеличивают в размерах. Существенно, что все средства крепления частных панелей должны быть тщательно продуманы, так как они входят в оформление общей панели. Желательно использование винтов с никелированными головками. Так же тщательно подбирают и вспомогательные детали оформления: гнезда для лампочек освещения шкал, тумблеры

включения питания, индикаторы настройки и положения переключателей и т. д. Миниатюрные микроамперметры (на 100—200 мкА), применяемые как стрелочные индикаторы настройки и сверхминиатюрные вакуумные люминесцентные индикаторы (ИВ-6), используемые для указания диапазона в приемниках с питанием от сети, можно также рассматривать как элементы украшения передней панели.

Вариант оформления передней панели приемника, показанный на рис. 72, требует тщательного выполнения шкальных механизмов. Шкалы защищены прозрачными полукруглыми корпусами. Их стрелки связаны с осями КПЕ ВЧ узлов или гетеродина с помощью тяг или тонких тросов. Меньшие затраты труда требуются при установке вместо этих шкал микроамперметров на 50—100 мкА (например, типа М-24) с длиной дорожки цифр около 110 мм. Их включают в цепи движков питаемых стабилизированным напряжением потенциометров, оси которых с помощью шестерен или шкивов, связанных общей ведущей нитью, соединены с органами управления или настройки.

Основную часть площади передней панели можно отвести для одной удлиненной шкалы со многими дорожками (для отметок частот отдельных поддиапазонов, обозначений поправок при использовании корректоров, для частот, используемых при настройке гетеродина и т. д.). Ручки управления потенциометрами и приводами КПЕ удобно разместить под общей шкалой в один ряд, причем для удобства работы ручки приводов КПЕ следует увеличить в размерах и разместить на краях этого ряда. При таком выполнении передней панели в ней выполняют отверстие прямоугольной формы, закрываемое затем полосой зеркального стекла с обработанными кромками. Собственно шкалу размещают за стеклом и выполняют подсвечиваемой или прозрачной. В первом случае перед шкалой в пространстве за стеклом натягивают тонкие стальные проволочки — направляющие для поводков стрелок, отведенных для различных дорожек. Поводки связывают с осями соответствующих КПЕ. Над шкалой устанавливают лампочки подсвета. Дорожки или цифры различных дорожек, а также указатели отдельных поддиапазонов расцвечивают разными красками. Для выделения определенной дорожки можно переключать лампочки подсвета, сделать их со светофильтрами. При таком оформлении панели тщательно выполняют собственно шкалу, окончательно вычерчивают или фотографируют ее после некоторого периода эксплуатации приемника, когда все цифры на частных шкалах уже уточнены.

За прозрачной шкалой устанавливают подшкальник в виде продолговатой коробки с отражателем света и лампочками. Когда эти лампочки располагаются параллельно дорожкам цифр частных шкал общей шкалы, их можно использовать как указатели диапазонов, подводя питание к ним от переключателей, связанных с отводами катушек, конденсаторов в цепях контуров. За шкалой устанавливают также горизонтальные рейки — направляющие для ползунков, поддерживающих стрелки и перемещающих их между шкалой и стеклом вдоль дорожек с цифрами.

Существует много других вариантов оформления панелей и шкал. В последние встраивают не только лампочки освещения или указания поддиапазонов (со светофильтрами и без них), но и светодиоды различного типа, миниатюрные стрелочные приборы, используемые как индикаторы точной настройки, люминесцентные индикаторы, подвижные указывающие флажки и т. п.

Необходимо также повторить, что высокое качество работы приемника зависит не только от тщательности выполнения и настройки отдельных его блоков и узлов, но и от взаимного согласования их работы, осуществляемого как в процессе расчета и конструирования, так и при окончательной настройке всего приемника. Дело в том, что практически любая цепь приемника на различных частотах имеет сопротивление различного характера и по-разному влияет на соседние цепи.

При рассмотрении согласования контуров с транзисторами указывалась необходимость учета $R_{вх}$ и $C_{вх}$ активных элементов. Это же обстоятельство следует учитывать в более широком плане при согласовании работы блоков приемника, настройке его узлов, измерениях. Усилительный каскад (см. каскодную схему на рис. 8,*а*), в составе которого работает полевой транзистор, обеспечивает большое усиление только при высокоомной нагрузке. Его нагрузкой должна служить цепь с высоким сопротивлением, например, входная цепь каскада также с полевым транзистором. Фильтр сосредоточенной селекции на высокоомных контурах при непосредственном подключении к базовым цепям усилителей на биполярных транзисторах не обеспечивает нужную селективность, предусмотренную при его выполнении. Чем ниже выходное сопротивление узла, тем меньше ощущается влияние на его работу со стороны нагрузки, следующего каскада или даже измерительного прибора. При этом мы должны учитывать не только сопротивление, вносимое в этот узел или каскад.

Каждый из узлов приемника имеет собственную входную емкость $C_{вх}$. При соединении узлов приемника к выходной емкости некоторого узла присоединяется и входная емкость следующего узла. Это обстоятельство должно учитываться даже при измерениях в схемах с колебательными контурами (УВЧ, УПЧ). При таких измерениях каждый измерительный прибор вносит в измеряемую цепь вполне определенную емкость и является для измеряемой цепи нагрузкой. В ряде случаев учет вносимой емкости более важен. Когда выполненный самостоятельно измерительный прибор для измерений в цепях ВЧ имеет головку с значительной входной емкостью $C_{вх}$, значение этой емкости нужно знать. Отключение головки от настроенного контура должно сопровождаться подпайкой к нему постоянного конденсатора с емкостью, равной $C_{вх}$.

Этот конденсатор можно удалить только при окончательной настройке приемника. Емкость каждого из подсоединяемых узлов и головок приборов можно измерить прибором, выполненным по схеме рис. 26,*а*, или УП и колебательного контура, возбужденного с помощью ГСС, по отклонению частоты резонанса за счет внесения дополнительной емкости.

В заключение отметим, что разнообразию описанных схем и конструкций узлов приемников не соответствует обилие принципиальных решений. Их сравнительно немного. Для выполнения супергетеродина-приставки с достаточно высокими показателями необходимо научиться создавать стабильные каскодные схемы для УВЧ и УПЧ, выполнять эффективно работающие цепи АРУ, смесители и кварцованные гетеродины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Соболевский А. Г.** Вы хотите сконструировать приемник. — М.: Связь, 1971. — 215 с.
2. **Мишустин И. А.** Повышение помехоустойчивости радиолюбительского приема. — М.: Энергия, 1974. — 89 с.
3. **ГОСТ 9783—71.** Приемники радиовещательные. Методы электрических и акустических измерений.
4. **Васильев В. А.** Радиолюбителю о транзисторах. — 2-е изд. — М.: ДОСААФ, 1973. — 223 с.
5. **Справочник** по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным схемам/Под общей ред. Н. Н. Горюнова. — 5-е изд. — М.: Энергия, 1979. — 744 с.
6. **Бочаров Л. Н.** Полевые транзисторы. — М.: Энергия, 1976. — 78 с.
7. **Скрипников Ю. Ф.** Колебательный контур. — М.: Энергия, 1970. — 128 с.
8. **Момот Е. А.** Приставки к радиоприемникам. — М.: Энергия, 1975. — 128 с.
9. **Попов А.** Две схемы каскодных усилителей ПЧ. — Радио, 1974, № 6, с. 28, 29.
10. **Поляков В.** Приемник коротковолновика-наблюдателя. — Радио, 1976, № 2, с. 49—52.
11. **Поляков В.** Усовершенствование приемника коротковолновика-наблюдателя. — Радио, 1976, № 7, с. 55, 56.
12. **Коваль А., Колодяжный И.** Простая коротковолновая приставка. — М.: ДОСААФ, 1977. — 63 с.
13. **Васильев В. А.** Зарубежные радиолюбительские конструкции. — М.: Энергия, 1977. — 120 с.
14. **Музыка З. Н., Пустоваров В. Е., Синицкий Б. Г.** Расчет высокочастотных каскадов радиоприемных устройств на транзисторах. — М.: Энергия, 1975. — 155 с.
15. **Ломакин А., Меньшонков Н.** УКВ приемник с автоподстройкой. — Радио, 1975, № 9, с. 41, 42.
16. **Алексеев Ю. П.** Блоки УКВ на лампах и транзисторах. — М.: Энергия, 1972. — 72 с.
17. **Кононович Л. М.** Радиовещательн[illegible] — М.: Энергия, 1977. — 189 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ